



بررسی عددی تاثیر ارتفاع و محل تیغه بر رسوب گذاری در حوضچه ته نشینی

الهام سعیدی^۱، احسان بهنام طلب^۲، سید علی اکبر صالحی نیشابوری^۳

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

چکیده

ته نشینی به وسیله نیروی ثقل از معمول ترین و پرکاربردترین روشهای جداسازی ذرات جامد معلق در آب و فاضلاب می باشد. حوضچه های ته نشینی از اجزاء مهم و اصلی در هر فرآیند تصفیه آب به شمار می روند. به دلیل هزینه بسیار زیاد ساخت و نگهداری این حوضچه ها، عملکرد بهینه حوضچه های ته نشینی بسیار حائز اهمیت است. محققان به منظور افزایش کارایی حوضچه، روش های مختلفی پیشنهاد کرده اند که در این میان تغییر هندسه با نصب تیغه در حوضچه ها جزء روش های اقتصادی بوده و نظر محققان را جلب کرده است. در تحقیق حاضر جریان حاوی ذرات رسوب در حوضچه ته نشینی مستطیلی به روش حجم محدود، با استفاده از نرم افزار Flow3D و با استفاده از مدل آشفتگی RNG k-ε به صورت تک فازی شبیه سازی شده است. هدف از انجام این مطالعه، شبیه سازی عددی هیدرولیک جریان در حوضچه های ته نشینی با آرایش تیغه های متفاوت و در نهایت دستیابی به بهترین هندسه برای کاربرد تیغه است. با توجه به تطابق نسبتاً خوب نتایج مدل عددی حاضر با داده های آزمایشگاهی، از صحت نتایج شبیه سازی عددی با نرم افزار Flow3D اطمینان حاصل شده است. بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد جریان در حوضچه های رسوب گذار به شدت تحت تاثیر حضور تیغه است. با توجه به مدل های بررسی شده مشخص گردید حضور تیغه با ارتفاع کمتر و نزدیک تر به ورودی حوضچه و همچنین حضور تیغه با ارتفاع بیشتر و دورتر از ورودی حوضچه بیشترین تاثیر را بر راندمان ته نشینی دارد.

واژه های کلیدی: حوضچه ته نشینی، تیغه، گردابه، رسوب گذاری، Flow3D

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس تهران، elham.saeedi71@yahoo.com

^۲ عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، e.behnamtalab@hsu.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران، salehi@modares.ac.ir

مقدمه

استفاده از نیروی ثقل یکی از روش‌های مرسوم در تصفیه آب و فاضلاب بوده که به کمک آن ذرات معلق و مواد زاید به وسیله ته‌نشینی از آب جدا می‌شوند. حوضچه‌های ته‌نشینی از معمول‌ترین واحدهای تصفیه‌خانه‌های آب هستند و کارایی حذف جامدات معلق در آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. به منظور بهینه ساختن عملکرد این حوضچه‌ها، شناخت هیدرولیک جریان موجود در آنها ضروری است و به دلیل هزینه بسیار بالای ساخت و نگهداری این حوضچه‌ها، عملکرد بهینه حوضچه‌های ته‌نشینی بسیار حائز اهمیت است. علی‌رغم اهمیت کاربردی این حوضچه‌ها، روش‌های طراحی موجود، تا حد زیادی بر فرمول‌های تجربی تکیه دارند که جزئیات هیدرودینامیکی سیستم را در نظر نمی‌گیرند. عملکرد حوضچه‌های ته‌نشینی به شدت متأثر از اثرات هیدرولیکی و فیزیکی مانند چگالی جریان، نیروی ثقل و لخته‌شدن رسوب است. در این راستا تنها جنبه شیمیایی رسوب موجود در حوضچه، حائز اهمیت نیست، بلکه هیدرولیک جریان نقش مهمی را ایفا می‌کند. بدین منظور تحقیقات متعددی برای افزایش عملکرد حوضچه ته‌نشینی انجام شده است. در این پژوهش‌ها، روش‌های مختلفی برای افزایش عملکرد حوضچه پیشنهاد شده است. همه راه‌حل‌های پیشنهاد شده با انجام تغییراتی در هندسه حوضچه به منظور از بین بردن پدیده‌های نامطلوب که باعث کاهش رسوب‌گذاری می‌شود، ارائه شده‌اند. استفاده از تیغه در کف حوضچه، ایجاد شیب در کف حوضچه، ایجاد تغییرات در عمق حوضچه و موارد متعدد دیگر از جمله راهکارهای پیشنهاد شده برای افزایش عملکرد حوضچه بوده است. محققان در مورد شیب و عمق حوضچه ته‌نشینی، پژوهش‌های بسیاری انجام داده‌اند و به نقطه‌نظرهای تقریباً متحدی رسیده‌اند. البته براساس گزارشات (Gharagozian 1998) تاثیر این دو پارامتر بر بازده رسوب‌گذاری در حوضچه ته‌نشینی

اندک است. از طرفی بکارگیری تیغه در کف حوضچه ته‌نشینی همواره از راه‌حل‌های مناسب در افزایش بازدهی رسوب‌گذاری بوده است بطوریکه ارتفاع و محل آن، عوامل موثری بر کیفیت عملکرد حوضچه می‌باشند. (Imam and McCorquodale 1983)، (McCorquodale et al. ، Celik et al. (1985) (1988)، (Zhou and ، Kerbs et al. (1995) (1992)، (McCorquodale and ، Zhou (1993) (2004)، (Ekamma and Maraisb (2004) ، (Shahrokhi et al. (2012) ، (Naser et al. (2005) ، و (Tarpagkou et al. (2014) از جمله محققانی بودند که به روش‌های مختلف به ارزیابی و تحلیل حوضچه‌های ته‌نشینی پرداختند.

(Taebi-Harandy and Schroeder (2000) اثر تیغه بر جریان چگال در حوضچه‌های ته‌نشینی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تیغه تاثیر کمی بر کاهش جریان چگال دارد. (Tamayol et al. (2008) تاثیرات برخی از پارامترهای هندسی نظیر محل ورودی و تیغه بر بازدهی حوضچه‌های ته‌نشینی را بررسی کرد. وی نشان داد محل مناسب تیغه، کاملاً به نیروهای شناوری بستگی دارد که این نیروها نیز وابسته به عدد رینولدز و غلظت جریان ورودی هستند. نتایج مدل فیزیکی خادمی (۱۳۸۵) نشان داد استفاده از تیغه در جریان‌های دوبعدی باعث افزایش راندمان تله‌اندازی حوضچه رسوب‌گیر نمی‌شود، اما باعث یکنواختی توزیع ته‌نشینی رسوبات در طول حوضچه می‌گردد. (Goula et al. (2008) به کمک مدل عددی یک حوضچه استاندارد و حوضچه‌ای با وجود یک تیغه را مقایسه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که تیغه منجر به کاهش چرخش‌های ورودی جریان و افزایش ته‌نشینی ذرات با هدایت کردن آنها به سمت بستر می‌شود. در این مطالعه حذف ذرات جامد با استفاده از تیغه از ۹۰ به ۹۸ درصد افزایش یافت. (Stamou (2008) با استفاده از تعدادی دیواره منحرف‌کننده جریان، سعی در اصلاح هندسه حوضچه و بالا بردن راندمان آن داشت. نتایج وی نشان از کاهش مناطق اتصال کوتاه و



معادلات حاکم در مدل‌سازی عددی

مدل‌سازی عددی حوضچه ته‌نشینی با استفاده از نرم‌افزار Flow3D انجام گرفته است. این نرم‌افزار از شبکه‌ای متشکل از سلولهای مستطیلی استفاده می‌کند که باعث تولید آسان و منظم شبکه حل عددی می‌شود که به کمترین ذخیره حافظه احتیاج دارد. قوانین حاکم بر جریان آشفته یک سیال تراکم‌ناپذیر و لزج توسط معادله پیوستگی و معادله رینولدز به شکل زیر بیان می‌شوند (Hirt and Nichols, 1988).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\bar{p} \delta_{ij} + \mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_i u'_j} \right) \quad (2)$$

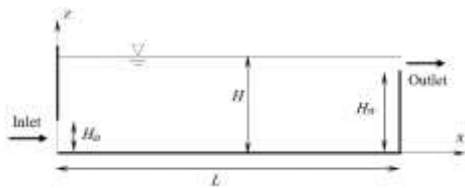
در این روابط ρ چگالی سیال، u ، v و w بترتیب سرعت در جهات اصلی، p فشار، g شتاب ثقل و μ ویسکوزیته دینامیکی است. این نرم‌افزار دارای مدل‌های آشفتگی مختلفی است. نرم‌افزار Flow3D برای تشخیص سطح آب از روش حجم سیال استفاده می‌کند. در این روش برای سلول‌های سطح جریان، که به‌صورت نیمه‌پر هستند، کمیتی تعریف می‌شود که نسبت پرشدگی آن‌ها از آب را نشان می‌دهد که مقدار یک برای آن نشان‌دهنده این است که سلول از آب پر شده و مقدار صفر آن نشان‌دهنده این است که سیالی داخل سلول وجود ندارد. با معلوم بودن این کمیت محل سطح آزاد و زاویه آن در میان سلول‌های میدان حل توسط نرم‌افزار قابل تشخیص است. همچنین در مدل‌های این تحقیق، از شرایط No-Slip (شرایط بدون لغزش) در سطح تماس با دیوار استفاده گردیده است. این نرم‌افزار از مدل‌های آشفتگی مختلفی از جمله طول اختلاط پراتل، یک‌معادله‌ای، $k-\varepsilon$ ، $k-\omega$ و RNG استفاده می‌کند (Hirt and Nichols, 1988). همچنین جریان سیال در کلیه مدل‌های عددی بصورت تک فاز شبیه‌سازی شده است.

نواحی چرخشی موجود با وجود استفاده از تیغه را داشت. (Razmi et al., 2009) به کمک مدل‌سازی عددی به این نتیجه رسیدند تیغه در محل مناسب می‌تواند باعث کاهش ناحیه مرده و افزایش بازده رسوب‌گذاری گردد. مدل‌سازی‌های عددی Asgharzadeh et al. (2012) نشان داد از نقطه‌نظر هیدرولیکی، جریان در حوضچه‌های ته‌نشینی به شدت تحت تاثیر وجود تیغه است. محل و هندسه تیغه در حجم مرده موثر بوده است و تغییر غلظت جریان ورودی، عملکرد تیغه را تغییر می‌دهد. (Razmi et al., 2013) استفاده از مدل‌سازی عددی گزارش نمودند بهترین موقعیت تیغه در ۰/۱۵ طول کانال با نسبت ارتفاع ۰/۳۲ عمق آب اتفاق می‌افتد. در این شرایط، ۹۰ درصد ذرات در حوضچه باقی می‌مانند.

بررسی تحقیقات گذشته در بکارگیری تیغه در حوضچه ته‌نشینی، نشان می‌دهد که محققان در تحقیق‌های مختلف، نتایج متفاوتی گرفته‌اند و اظهارنظرهای متحدی در این باره وجود ندارد. برخی عملکرد تیغه را مفید دانسته‌اند و برخی آن را باعث کاهش بازده رسوبگذاری بیان کرده و برخی نیز نتیجه گرفته‌اند که تاثیر آن، آنقدر نبوده که در مقابل هزینه ساخت، صرفه اقتصادی داشته باشد.

در این پژوهش با انتخاب نرم‌افزار Flow3D سعی شده است با مدل‌سازی عددی هیدرولیک جریان در حوضچه ته‌نشینی، شناخت کاملی از هیدرولیک جریان در حوضچه ته‌نشینی همراه با تیغه فراهم گردد. هدف از انجام این مطالعه، شبیه‌سازی عددی هیدرولیک جریان در حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه با آرایش تیغه‌های متفاوت و در نهایت دستیابی به بهترین هندسه تیغه در جهت افزایش بازدهی رسوب‌گذاری حوضچه ته‌نشینی است. در این تحقیق انواع شرایط آرایش تیغه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و اثر تیغه‌ها بر عملکرد رسوب‌گذاری با تمرکز بر هیدرودینامیک جریان بررسی شده است.

¹ Volume of Fluid (VOF)



شکل (۱): مشخصات مدل فیزیکی Shahrokhi et al. (2012)

برای مدل‌سازی حوضچه موردنظر از یک بلوک شبکه‌بندی با شرایط مرزی مشخص استفاده شد. شرایط مرزی دبی همراه با رسوب معلق و خروجی^۱ بترتیب برای مرزهای ورودی و خروجی حوضچه، شرایط مرزی دیوار آدر کف حوضچه و دیوارهای کناری آن و شرایط مرزی تقارن در سطح آب در نظر گرفته شد. نتایج بررسی حساسیت‌سنجی نسبت به ابعاد شبکه نشان داد که اندازه سلول ۸ میلی‌متری با توزیع یکنواخت بهترین نتایج را به همراه دارد. به منظور انتخاب بهترین مدل آشفتگی نیز برای پیش‌بینی جریان آشفته، سه مدل آشفتگی $k-\epsilon$, RNG و LES مورد بررسی قرار گرفتند. مقایسه نتایج نشان داد که مدل آشفتگی RNG نسبت به سایر مدل‌های آشفتگی، توانایی بیشتری در پیش‌بینی مشخصات جریان دارد. بعلاوه Tamayol and Firoozabadi (2006) با بررسی اثرات مدل‌های آشفتگی بر هیدرولیک جریان در حوضچه ته‌نشینی همراه با تیغه، استفاده از مدل آشفتگی RNG را پیشنهاد نمودند. شکل (۲) تغییرات غلظت رسوب در مدل عددی در راستای قائم در چهار مقطع مختلف از ابتدای حوضچه با نتایج مدل فیزیکی Shahrokhi et al. (2012) مقایسه شده است. میزان خطای غلظت رسوب معلق در مدل عددی بر مبنای نتایج مدل فیزیکی در هر نقطه در این تحقیق محاسبه گردید. متوسط نتایج برای x^* های مختلف نشان داد که با نزدیک شدن به انتهای حوضچه خطای غلظت رسوب افزایش می‌یابد. خطای غلظت رسوب برای $x^*=0.42, 0.61, 0.79, 0.98$ بترتیب ۱۰، ۶، ۱۵ و ۲۷ درصد است. بطور

صحت‌سنجی مدل عددی حوضچه

ته‌نشینی

صحت‌سنجی مدل عددی حوضچه ته‌نشینی در دو قسمت بطور جداگانه انجام گرفته است. این دو قسمت شامل مقایسه نتایج میدان سرعت بدون حضور رسوب معلق با نتایج مدل فیزیکی و عددی Imam and McCorquodale (1983) و مقایسه نتایج میدان غلظت رسوب معلق حاصل از جریان ورودی حاوی ذرات رسوب با نتایج مدل فیزیکی Shahrokhi et al. (2012) هستند. نتایج مقایسه میدان سرعت نشان داد که مدل عددی بخوبی توانسته است میدان سرعت در حوضچه را پیش‌بینی نماید. همچنین ارزیابی آرایش مناسب و مشخصات هندسی تیغه‌ها در حوضچه‌های ته‌نشینی، مستلزم پیش‌بینی صحیح میدان غلظت رسوب در حوضچه ته‌نشینی است. در این بخش قابلیت نرم‌افزار Flow3D در پیش‌بینی غلظت رسوب در حوضچه‌های ته‌نشینی ارزیابی می‌شود. همانطور که گفته شد به منظور صحت‌سنجی جریان همراه با رسوب در مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی Shahrokhi et al. (2012) استفاده شد. هندسه حوضچه در مدل فیزیکی Shahrokhi et al. (2012) مطابق شکل (۱) و دارای طولی باندازه ۲ متر، عرض ۰/۵ متر، ارتفاع جریان ورودی ۱۰ سانتیمتر، ارتفاع سرریز خروجی ۳۰ سانتیمتر، عمق جریان ۳۱ سانتیمتر، دبی ورودی ۰/۰۰۲ متر مکعب بر ثانیه، قطر ذرات رسوب بین ۷۵ تا ۱۰۶ میکرومتر و غلظت رسوب معلق در جریان ورودی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

³ Symmetry

¹ Outflow

² Wall

حال با توجه به اینکه نتایج مقایسه مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی مناسب بود بنابراین می توان به نرم افزار Flow3D برای مدلسازی هیدرولیک جریان در حوضچه ته نشینی اعتماد کرد و حوضچه ته نشینی همراه با تیغه را مدل سازی نمود.

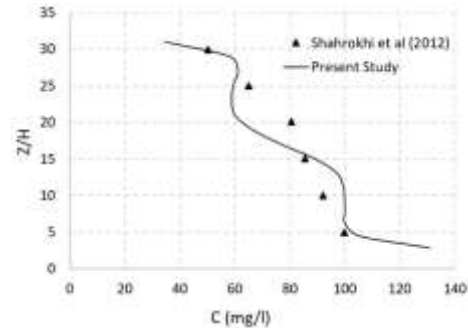
تأثیر تیغه بر عملکرد حوضچه ته نشینی با استفاده از مدل عددی

در این بخش اثر تیغه بر هیدرولیک جریان در حوضچه ته نشینی بررسی شده است. ابتدا مشخصات میدان حل مورد بررسی قرار گرفته، سپس اثر آرایش های مختلف تیغه و نیز مشخصات هندسی آن ها ارزیابی خواهد شد. در انتها نیز پارامترهای مهم هیدرولیکی موثر بر رسوب گذاری مانند تنش برشی در کف حوضچه، سرعت افقی حداکثر و نیز حجم مرده، بررسی و تحلیل خواهند شد.

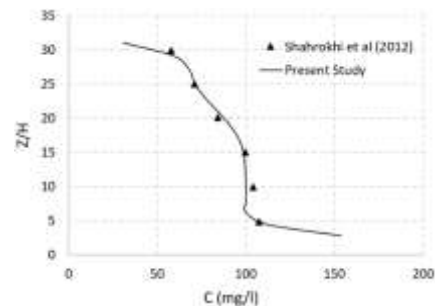
مشخصات میدان حل

برای مدل سازی عددی حوضچه ته نشینی از مشخصات مدل فیزیکی (Shahrokhi et al. (2012) استفاده شد. مشخصات کامل این مدل، نحوه شبکه بندی و مدل آشفتگی در بخش قبل ارائه گردید. در این تحقیق هیدرولیک جریان و رسوب برای حوضچه های بدون تیغه، حوضچه های با یک تیغه و حوضچه های با دو تیغه بررسی و مقایسه شده است. بطور کلی ۱۶ حالت مختلف برای مدل سازی انتخاب شدند که مشخصات آنها در جدول (۱) ارائه شده است. در این جدول فاصله قرارگیری تیغه های ۱ و ۲ از ابتدای حوضچه بترتیب L1 و L2 و ارتفاع تیغه نیز h در نظر گرفته شد.

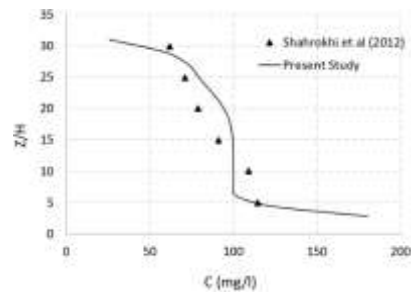
کلی می توان گفت نتایج، تطابق خوب نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی را نشان می دهد.



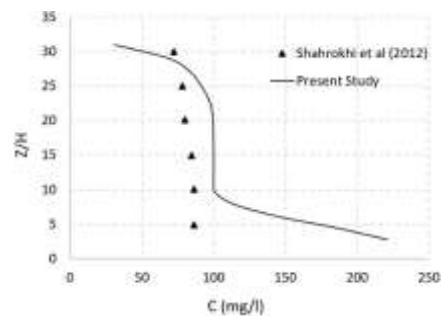
الف) $x^*=0.42$



ب) $x^*=0.61$



ج) $x^*=0.79$



د) $x^*=0.98$

شکل (۲): مقایسه غلظت رسوب در حوضچه ته نشینی در مدل عددی و مدل فیزیکی (Shahrokhi et al. (2012)
(x^* طول بدون بعد حوضچه است، $x^*=x/L$)

فروود جریان ورودی به حوضچه، مقادیری ثابت و به ترتیب ۳۹۷۲ و ۰/۰۴ می‌باشند. با توجه به اینکه در اعداد رینولدز بزرگتر از ۲۰۰۰، در جریان ورودی آشفتگی در نظر گرفته می‌شوند، بنابراین در کلیه مدل‌سازی‌های این تحقیق، جریان بصورت آشفتگی است. از طرفی می‌توان گفت که بدون در نظر گرفتن موقعیت تیغه‌ها و عدد فروود، جریان بصورت آشفتگی باقی خواهد ماند.

نتایج و بحث

اثر تیغه بر میزان رسوب گذاری در حوضچه ته‌نشینی

در این قسمت اثر تیغه بر رسوبگذاری با استفاده از غلظت رسوب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شکل (۳) بصورت سه‌بعدی، غلظت در حوضچه برای مدل‌های ۱، ۲ و ۱۴ را مقایسه کرده است. در حوضچه بدون تیغه (مدل شماره ۱) مشاهده می‌شود ته‌نشینی به طور مناسب و کافی انجام نگرفته است زیرا در خروجی حوضچه و نزدیک به سرریز، غلظت رسوب نزدیک به حداکثر است. بررسی سطوح هم تراز غلظت در مدل‌های با یک تیغه در شرایط مختلف قرارگیری (مدل‌های شماره ۲ تا ۱۳) نشان می‌دهند تیغه‌های نزدیک ورودی، تاثیر بیشتری بر روی ته‌نشینی ذرات رسوب داشته است. مطابق انتظار، قرارگیری تیغه در یک موقعیت ثابت و افزایش ارتفاع آن، باعث شده است که غلظت رسوب قبل از تیغه افزایش یابد و مقدار بیشتری از رسوبات در پشت تیغه جمع شوند. به نظر می‌رسد غلظت بالا در پشت تیغه بدلیل وجود گردابه در آن محل باشد و ذرات رسوب در داخل گردابه، به تله افتاده‌اند.

جدول (۱): مشخصات مدل‌های عددی بررسی شده

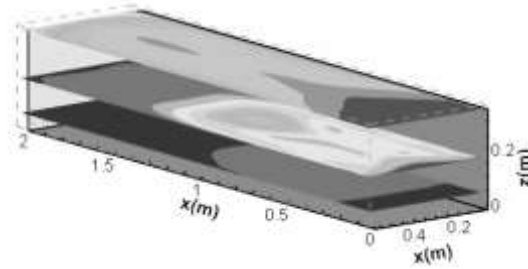
مدل شماره	تعداد تیغه	فاصله بدون بعد تیغه از ابتدای حوضچه ($L_1/L, L_2/L$)	ارتفاع بدون بعد تیغه (h/H)
۱	بدون تیغه	-	-
۲	تک تیغه	۰/۰۵	۰/۳
۳		۰/۲۵	۰/۳
۴		۰/۴۵	۰/۳
۵		۰/۶۰	۰/۳
۶		۰/۰۵	۰/۴
۷		۰/۲۵	۰/۴
۸		۰/۴۵	۰/۴
۹		۰/۶۰	۰/۴
۱۰		۰/۰۵	۰/۵
۱۱		۰/۲۵	۰/۵
۱۲		۰/۴۵	۰/۵
۱۳		۰/۶۰	۰/۵
۱۴		دو تیغه	۰/۰۵ ۰/۶۰
۱۵	۰/۲۵ ۰/۶۰	۰/۳	
۱۶	۰/۴۵ ۰/۶۰	۰/۳	

به منظور بررسی نوع جریان داخل حوضچه در شرایط موجود لازم است عدد فروود (Fr_{in}) و عدد رینولدز (Re_{in}) جریان ورودی به حوضچه محاسبه گردد. این دو پارامتر مطابق روابط زیر محاسبه می‌شوند.

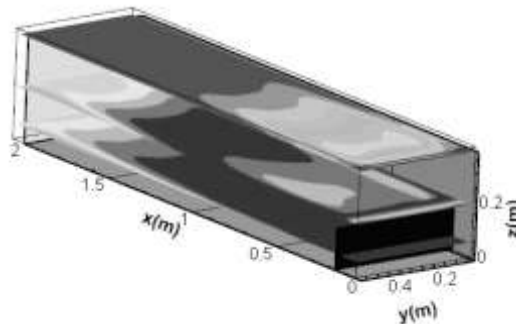
$$Re_{in} = \frac{U_o \times H_{in}}{\nu} \quad (۳)$$

$$Fr_{in} = \frac{U_o^2}{g \times H_{in}} \quad (۴)$$

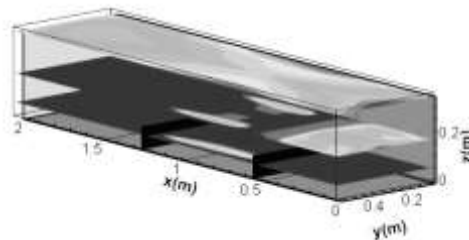
در این روابط U ویسکوزیته سینماتیکی سیال داخل حوضچه است که بدلیل غلظت رسوبات کم با ویسکوزیته دینامیکی آب زلال یکسان در نظر گرفته شده است. با استفاده از این روابط، عدد رینولدز و عدد



الف) مدل شماره ۱



ب) مدل شماره ۲



ج) مدل شماره ۱۴



شکل (۳): نمایش سه بعدی منحنی‌های هم‌تراز غلظت در مدل‌های ۱ (بدون تیغه)، ۲ (یک تیغه) و ۱۴ (دو تیغه)

شده است و غلظت متوسط در خروجی حوضچه در کل سطح مقطع خروجی متوسط‌گیری شده است. نتایج بازدهی رسوب‌گذاری برای مدل‌های مختلف در شکل (۴) ارائه شده است. مطابق این شکل، استفاده از تیغه در ناحیه ابتدایی حوضچه، بیشترین تاثیر را بر راندمان ته‌نشینی داشته، به طوری که استفاده از تیغه در $(\frac{L_1}{L} = 0.05)$ تا $\frac{2}{5}$ برابر سبب افزایش راندمان حوضچه نسبت به حالت بدون تیغه شده است. استفاده از یک تیغه در ناحیه میانی و انتهای حوضچه با ارتفاع نصف عمق آب $(\frac{h}{H} = 0.5)$

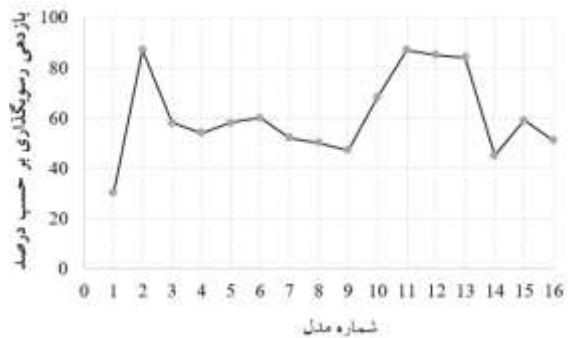
به منظور بررسی اثر تیغه بر بازدهی رسوب‌گذاری بدون توجه به پدیده‌های رخ داده در حوضچه، از رابطه (۵) استفاده شده است.

$$\eta = \frac{\bar{C}_{in} - \bar{C}_{out}}{\bar{C}_{in}} \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه، η بازدهی حوضچه ته‌نشینی بر حسب درصد و \bar{C}_{in} و \bar{C}_{out} نیز بترتیب غلظت متوسط رسوب معلق در جریان ورودی و خروجی هستند. غلظت متوسط در ورودی حوضچه که برابر ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تعریف

شکل، با قرارگیری تیغه در موقعیت ۰/۰۵ طول حوضچه (برای مدل‌های ۲، ۶ و ۱۰)، سرعت افقی حداکثر افزایش می‌یابد اما در دیگر شرایط، تیغه‌ها باعث کاهش سرعت افقی حداکثر شده‌اند. به نظر می‌رسد علت کاهش سرعت این است که حضور تیغه، مساحت گردابه ورودی را کاهش داده و این موضوع باعث افزایش سطح مقطع جریان عبوری شده است. در شرایط استفاده از دو تیغه، این پارامتر در همه حالت‌ها کاهش یافته است. همچنین استفاده از دو تیغه در مقایسه با یک تیغه باعث کاهش بیشتر پارامتر سرعت افقی حداکثر شده است ولی باعث نشده که راندمان رسوب‌گذاری افزایش یابد.

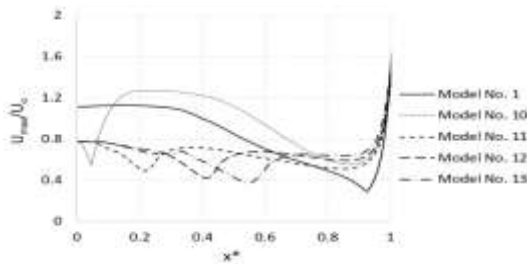
نیز تاثیر قابل توجهی بر راندمان داشته است در حالی که استفاده از دو تیغه نسبت به یک تیغه تاثیر کمتری در افزایش راندمان رسوب‌گذاری داشته است.



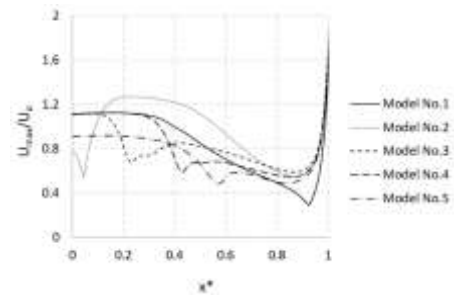
شکل (۴): بازدهی رسوب‌گذاری برای مدل‌های مختلف

میدان سرعت در حوضچه

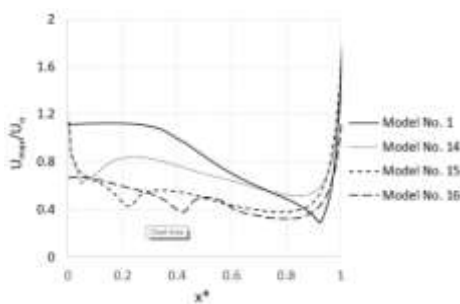
پارامتر سرعت افقی حداکثر در حوضچه ته‌نشینی از جمله پارامترهای تاثیرگذار بر رسوب‌گذاری است. سرعت افقی حداکثر، حداکثر سرعت افقی در راستای طولی حوضچه می‌باشد. با توجه به اینکه برای رسوب‌گذاری مناسب، ذرات رسوب باید فرصت کافی برای ته‌نشینی داشته باشند بنابراین سرعت افقی بیش از حد، منجر به کاهش رسوب‌گذاری می‌شود. در شکل (۵) سرعت افقی حداکثر که با استفاده از سرعت متوسط ورودی بی‌بعد شده، در مدل‌های مختلف مقایسه شده است. براساس



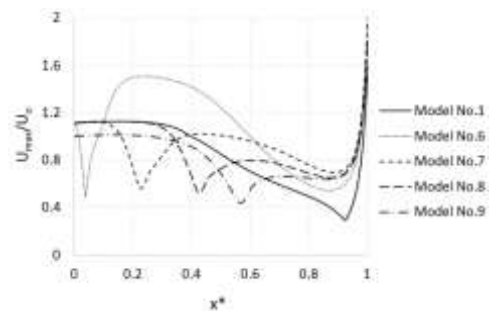
ج) $h/H=0.5$



الف) $h/H=0.3$



د) دو تیغه

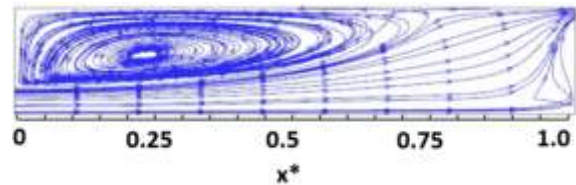
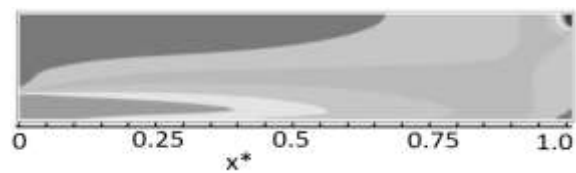


ب) $h/H=0.4$

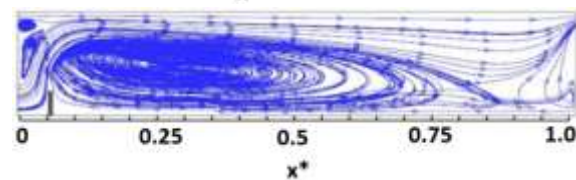
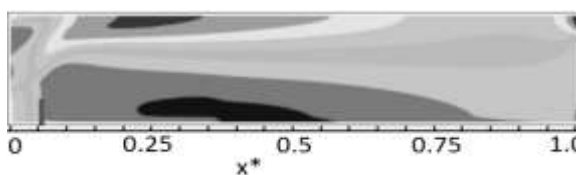
شکل (۵): سرعت افقی حداکثر در طول حوضچه ته‌نشینی در مدل‌های ۱ تا ۱۶

همین دلیل در این دو حالت نسبت به حالت الف راندمان رسوبگذاری به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. در بین این سه حالت بیشترین راندمان رسوبگذاری مربوط به حالت ب می‌باشد چراکه ناحیه جریان بازگشتی بزرگتری دارد. هم‌چنین از مقایسه حالت ب و ج می‌توان نتیجه گرفت تیغه دوم در موقعیت 0.6 طول کانال باعث کوچکتر شدن ناحیه جریان بازگشتی و گردابه شده و اثر منفی بر روی راندمان رسوبگذاری داشته است. نکته دیگری در رابطه با این شکل می‌توان گفت این است که پارامتر ارتفاع ماکزیمم سرعت افقی که یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر رسوبگذاری است در حالت ب نسبت به بقیه حالت‌ها کمتر می‌باشد. این پارامتر هرچه کم‌تر باشد ذرات فاصله کمتری را برای رسوبگذاری طی می‌کنند و عمل رسوبگذاری تسریع می‌گردد.

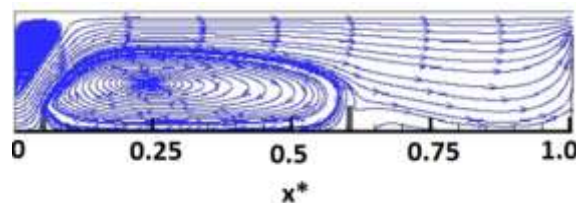
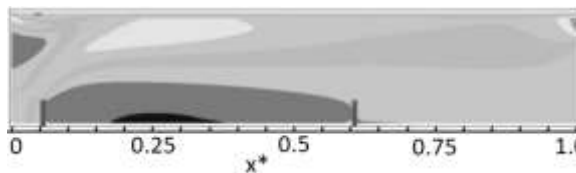
شکل (۶) منحنی‌های هم‌تراز مولفه طولی سرعت را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در حالت بدون تیغه در ورودی حوضچه و در نزدیکی سطح جریان، ناحیه جریان بازگشتی که نشان دهنده تشکیل گردابه می‌باشد، بزرگتر است. با قرار دادن تیغه در مسیر جریان این ناحیه در ورودی حوضچه کوچکتر می‌شود. در حالت بدون تیغه مقدار مولفه طولی سرعت در نزدیکی کف مثبت می‌باشد به عبارتی جریان رسوبات را با خود حمل کرده و از حوضچه خارج می‌کند لذا راندمان ته‌نشینی در این حالت بسیار پایین می‌باشد اما در حالت‌های ب و ج که تیغه در مسیر جریان قرار گرفته در نزدیکی کف در پشت تیغه در حالت تک تیغه و بین تیغه‌ها در حالت دو تیغه جریان بازگشتی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تشکیل گردابه و به دام افتادن رسوب در گردابه است به



الف) مدل شماره ۱



ب) مدل شماره ۲

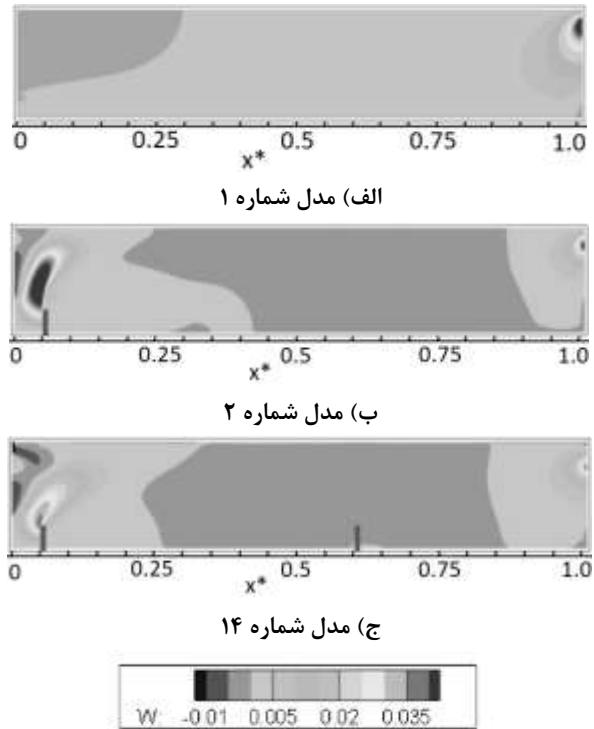


ج) مدل شماره ۱۴



شکل (۶): منحنی‌های هم‌تراز مولفه طولی سرعت (U)

شکل (۷) منحنی‌های هم‌تراز مولفه قائم سرعت را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در حالت‌های ب و ج مولفه قائم سرعت مقدار منفی بزرگتری نسبت به حالت الف دارد. که این موضوع نشان‌دهنده جریانی رو به پایین و افزایش ته نشینی است که باعث افزایش راندمان رسوبگذاری می‌شود.



شکل (۷): منحنی‌های مولفه قائم سرعت (W)

گردابه، ابتدا سطح گردابه در صفحه طولی حوضچه محاسبه و با توجه به اینکه سطح گردابه در عرض حوضچه ثابت است، حجم گردابه محاسبه شده است. همچنین با توجه به اینکه حجم مرده شامل کلیه گردابه‌های موجود در حوضچه می‌باشد با محاسبه سطح گردابه‌ها در صفحه طولی حوضچه، حجم مرده محاسبه شده است.

بحث

به منظور تصمیم‌گیری در مورد عملکرد تیغه بر بازدهی رسوب‌گذاری و نیز تاثیر آن بر پارامترهای موثر بر رسوب-گذاری جدول (۲) تهیه شده است. مطابق مطالب ارائه شده، هرچه حجم مرده، سرعت افقی حداکثر و سرعت برشی در کف حوضچه بدلیل استفاده از تیغه، کمتر و حجم گردابه پایین‌دست تیغه بیشتر شود، شرایط مناسب‌تری در حوضچه ته‌نشینی رخ داده است. به منظور محاسبه حجم

جدول (۲): بررسی کلی تاثیر تیغه بر پارامترهای هیدرولیکی حوضچه ته‌نشینی

راندمان	درصد تغییرات بیشینه سرعت افقی نسبت به حالت درصد تغییرات سرعت برشی نسبت به حالت بدون تیغه	حجم گردابه پایین دست تیغه	درصد تغییرات حجم مرده (%)	محل شماره
۳۰	-	-	-	۱
۸۷	۱۵	-۰/۴۰۶	-۹۵	۲
۵۸	-۱/۵	-۰/۱۳۸	-۵۶	۳
۵۴	-۱	-۰/۲۹۰۴	-۲۱	۴
۵۸	-۱۱	-۰/۰۲۲۵	-۳۹	۵
۶۰	۲۷	-۰/۳۵۱	-۹۳	۶
۵۲	۱۱	-۰/۳۳۵	-۷۱	۷
۵۰	۵	-۰/۱۷۴	-۴۱	۸
۴۷	-۲	-۰/۱۶۸	-۳۷	۹
۶۸	۱۵	-۰/۳۷۵	-۹۶	۱۰
۸۷	-۲۳	-۰/۱۹۲	-۸۹	۱۱
۸۵	-۲۱	-۰/۳۹۶	-۸۰	۱۲
۸۴	-۲۱	-۰/۱۶	-۷۸	۱۳
۴۵	-۱۶	-۰/۲۶۴	-۸۹	۱۴
۵۹	-۳۵	-۰/۱۱۲	-۵۴	۱۵
۵۱	-۴۱	-۰/۰۴۲	-۴۳	۱۶



حوضچه را افزایش می‌دهد. در این مطالعه نیز مشاهده شد در پایین دست تیغه، ناحیه چرخشی ایجاد شده باعث از بین رفتن بخشی از ناحیه پرسرعت کف شده و در نتیجه راندمان رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد. همانطور که Goula et al. (2008) و Tamayol et al. (2008) نتیجه گرفتند که تیغه منجر به کاهش چرخش‌های ورودی و افزایش ته نشینی ذرات با هدایت کردن آنها به سمت بستر مخزن می‌شود، با توجه به جدول (۲) نیز می‌توان مشاهده کرد تیغه باعث کوچک‌تر شدن گردابه ورودی و افزایش راندمان رسوب‌گذاری شده است. یکی از بهترین راندمان‌های رسوب‌گذاری (۸۷٪) مربوط به حالت ارتفاع ۰/۳ عمق جریان و موقعیت ۰/۰۵ طول حوضچه می‌باشد که این شرایط تقریباً مشابه نتیجه تحقیقات رزمی و همکاران (۲۰۱۳) است. آنها گزارش کرده‌اند بهترین موقعیت تیغه در ۰/۱۵ طول حوضچه با نسبت ارتفاع ۰/۳۲ عمق آب اتفاق می‌افتد و در این مورد ۹۰ درصد ذرات در مخزن ته نشینی باقی می‌مانند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق جریان حاوی ذرات رسوب در حوضچه ته‌نشینی مستطیلی با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی شده است. با توجه به تطابق نسبتاً خوب نتایج مدل عددی حاضر با داده‌های آزمایشگاهی، از صحت نتایج شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار Flow3D اطمینان حاصل شد. بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد جریان در حوضچه‌های رسوب‌گذار به شدت تحت تاثیر حضور تیغه است. با توجه به مدل‌های بررسی شده مشخص گردید حضور تیغه با ارتفاع کمتر و نزدیک‌تر به ورودی حوضچه و همچنین حضور تیغه با ارتفاع بیشتر و دورتر از ورودی حوضچه بیشترین تاثیر را بر راندمان ته‌نشینی دارد.

با توجه به جدول (۲) در حالت تیغه با ارتفاع ۰/۳ و ۰/۴ عمق جریان، با دور شدن تیغه از ورودی حوضچه، راندمان رسوب‌گذاری کاهش و در حالت تیغه با ارتفاع ۰/۵ عمق جریان، با دور شدن تیغه از ورودی جریان، راندمان رسوب‌گذاری افزایش یافته است. در حالت تیغه با موقعیت ۰/۰۵ طول حوضچه از ابتدای آن، با افزایش ارتفاع تیغه، راندمان رسوب‌گذاری کاهش و در حالت‌های تیغه با موقعیت ۰/۲۵، ۰/۴۵ و ۰/۶ طول حوضچه از ابتدای آن، با افزایش ارتفاع تیغه، راندمان رسوب‌گذاری افزایش یافته است. همچنین با ثابت بودن ارتفاع تیغه و با دور شدن آن از ورودی حوضچه، سرعت افقی حداکثر و سرعت برشی کف حوضچه کاهش می‌یابد. همچنین بیشترین کاهش سرعت افقی حداکثر در حالت دو تیغه اتفاق افتاده است. نتایج جدول نشان می‌دهند مدل‌های ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ بیشترین راندمان را دارند و بر این اساس می‌توان به تاثیر قابل توجه سرعت افقی حداکثر و اندازه‌ی گردابه‌های بالادست و پایین دست تیغه بر راندمان رسوب‌گذاری اشاره نمود. همانطور که در این ۴ مدل مشاهده می‌شود با توجه به اینکه گردابه‌های پایین دست تیغه که اثر مثبت بر راندمان رسوب‌گذاری دارند در حالت‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ کوچکتر و گردابه‌های نزدیک ورودی که اثر منفی بر راندمان رسوب‌گذاری دارند بزرگتر از حالت ۲ هستند، اما کاهش شدید سرعت افقی حداکثر در این مدل‌ها، اثرات منفی گردابه‌ها را کاهش داده و راندمان رسوب‌گذاری ۳ مدل موردنظر به راندمان مدل ۲ نزدیک شده است. (Gharagozian (1998) و Mazzolani et al. (1998) به این نتیجه رسیدند که برای غلظت ذرات معلق ورودی کم و متوسط، قرارگیری تیغه با ارتفاع زیاد در حوضچه، بیشترین بازدهی را دارد. در این مطالعه نیز مشاهده شد بجز در حالت قرارگیری تیغه در نزدیکی ورودی در سایر موارد، با افزایش ارتفاع تیغه، راندمان رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد. (Tamayol et al. (2008) اذعان داشت تیغه ورودی و میانی در کف حوضچه باعث تخریب ناحیه پرسرعت کف می‌شود و در نتیجه راندمان



منابع

- خادمی، م. امید، م. ح. و هورفر، ع. ۱۳۸۵. "مطالعه آزمایشگاهی اثر تیغه هدایت کننده بر راندمان تله اندازی حوضچه رسوبگیر." هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران (ICCE)، تهران، اردیبهشت ۲۲-۲۴.
- Asgharzadeh, H., Firoozabadi, B. and Afshin, H., 2012. Experimental and numerical simulation of the effect of particles on flow structures in secondary sedimentation tanks. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 5(2), pp.15-23.
- Celik, I., Rodi, W. and Stamou, A.I., 1985. Prediction of hydrodynamic characteristics of rectangular settling tanks. *International Symposium of Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements*.
- Ekama, G.A. and Marais, P., 2004. Assessing the applicability of the 1D flux theory to full-scale secondary settling tank design with a 2D hydrodynamic model. *Water research*, 38(3), pp.495-506.
- Gharagozian, A., 1998. Circular secondary clarifier investigations using a numerical model, Doctoral dissertation, University of California, Los Angeles.
- Goula, A.M., Kostoglou, M., Karapantsios, T.D. and Zouboulis, A.I., 2008. A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment: Case study: The influence of a feed flow control baffle. *Chemical Engineering Journal*, 140(1), pp.110-121.
- Hirt, C.W. and Nichols, B., 1988. *Flow-3D User's Manual*. Flow Science Inc.
- Imam, E. and McCorquodale, J.A., 1983. Simulation of flow in rectangular clarifiers. *Journal of Environmental Engineering*, 109(3), pp.713-730.
- Krebs, P., Vischer, D. and Gujer, W., 1995. Inlet-structure design for final clarifiers. *Journal of Environmental Engineering*, 121(8), pp.558-564.
- Mazzolani, G., Pirozzi, F. and d'Antoni, G., 1998. A generalized settling approach in the numerical modeling of sedimentation tanks. *Water Science and Technology*, 38(3), pp.95-102.
- McCorquodale, J.A., Moursi, A.M. and El-Sebakhy, I.S., 1988. Experimental study of flow in settling tanks. *Journal of Environmental Engineering*, 114(5), pp.1160-1174.
- Mccorquodale, J.A. and Zhou, S., 1993. Effects of hydraulic and solids loading on clarifier performance. *Journal of Hydraulic Research*, 31(4), pp.461-478.
- Naser, G., Karney, B.W. and Salehi, A.A., 2005. Two-dimensional simulation model of sediment removal and flow in rectangular sedimentation basin. *Journal of Environmental Engineering*, 131(12), pp.1740-1749.
- Razmi, A.M., Bakhtyar, R., Firoozabadi, B. and Barry, D.A., 2013. Experimental and numerical modeling of baffle configuration effects on the performance of sedimentation tanks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(2), pp.140-150.



- Razmi, A., Firoozabadi, B. and Ahmadi, G., 2009. Experimental and numerical approach to enlargement of performance of primary settling tanks. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 2(1).
- Shahrokhi, M., Rostami, F., Said, M.A.M., Sabbagh-Yazdi, S.R., Syafalni, S. and Abdullah, R., 2012. The effect of baffle angle on primary sedimentation tank efficiency. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(3), pp.293-303.
- Stamou, A.I., 2008. Improving the hydraulic efficiency of water process tanks using CFD models. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(8), pp.1179-1189.
- Taebi-Harandy, A. and Schroeder, E.D., 2000. Formation of density currents in secondary clarifier. *Water Research*, 34(4), pp.1225-1232.
- Tamayol, A. and Firoozabadi, B., 2006. Effects of turbulent models and baffle position on hydrodynamics of settling tanks. *Scientia Iranica J*, 13(3), pp.255-260.
- Tamayol, A., Firoozabadi, B. and Ahmadi, G., 2008. Effects of inlet position and baffle configuration on hydraulic performance of primary settling tanks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(7), pp.1004-1009.
- Tarpagkou, R. and Pantokratoras, A., 2014. The influence of lamellar settler in sedimentation tanks for potable water treatment—a computational fluid dynamic study. *Powder Technology*, 268, pp.139-149.
- Zhou, S. and McCorquodale, J.A., 1992. Modeling of rectangular settling tanks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(10), pp.1391-1405.



Numerical Investigation of baffle effect on sedimentation and flow field in sedimentation tank

Elham Saeedi, Ehsan Behnamtalab*, Seyed Aliakbar Salehi Neishabouri¹

Abstract

Sedimentation by gravity is a common, highly applicable separation method for the suspended solid particles of water and wastewater. Sedimentation basin is an important component of every water treatment process. Due to high maintenance costs of these basins, up to about 30% of all costs in a water treatment plant, optimum performance of settling basin is very significant. In order to improve the efficiency of the basin, engineers have proposed various methods, among which, "changing the geometry along with installation of baffle in the basin" is economic and has attracted the attention of researchers. In the present paper, numerical simulation was made by using Flow3D software and RNG k- ϵ turbulence model for a flow consisting of settlement particles in the rectangular settlement basin by a finite volume method (FVM). This study aims at numerical simulation of the hydraulic flow in settling basins with various baffle configurations, and finally, obtaining the best geometry for the baffle. Considering the relative consistency of the numerical model results and the experimental data, the numerical simulation results were validated using the Flow3D model. The results showed that the flow in the settling basin is severely affected by the baffle. According to the studied models, it is clear that the baffles installed with lower height and closer to the basin inlet and baffles with high height and far away from the basin inlet have the most effective case on the settlement efficiency.

Keywords: settling tank, baffle, sedimentation, vortex, Flow3D

¹. M.Sc. of Hydraulic Structure, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, elham.saeedi71@gmail.com

². Faculty member of Civil Engineering, t, Hakim Sabzevari University, e.behnamtalab@hsu.ac.ir

³. Prof., Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, salehi@modares.ac.ir