

بررسی عددی تأثیر محل ورودی جریان و مشخصات تیغه جداکننده در حوضچه ته‌نشینی

حمید شاملو^۱

علیرضا بیات^۲

بهاره پیرزاده^۳

(دریافت ۸۸/۱۲/۹ آخرین اصلاحات دریافتی ۹۰/۷/۱۰ پذیرش ۹۰/۷/۲۰)

چکیده

حوضچه ته‌نشینی یکی از مهم‌ترین بخشهای تصفیه‌خانه‌های آب است. عوامل متعددی در ظرفیت و کارایی حوضچه‌های ته‌نشینی مؤثراند. در این مطالعه تأثیر بعضی از این عوامل از جمله محل ورودی جریان و همچنین وجود تیغه جداکننده جریان و موقعیت آنها در حوضچه بررسی گردید. به این منظور با شبیه‌سازی و بررسی عددی دوبعدی حوضچه ته‌نشینی به کمک نرم‌افزار فلوئنت، محل ورودی مناسب برای ایجاد شرایط مساعد به منظور ته‌نشینی در ارتفاع میانه حوضچه مناسب تشخیص داده شد و همچنین ارتفاع تیغه‌ای معادل ۳۰ درصد ارتفاع حوضچه و با فاصله ای برابر ۵ تا ۱۰ درصد طول حوضچه بهینه ارزیابی گردید.

واژه‌های کلیدی: حوضچه ته‌نشینی، گردابه، تیغه جداکننده جریان، آشفستگی، فلوئنت

Numerical Investigation of Effects of Inlet Placement and Characteristics of Baffles in Settling Tanks

Hamid Shamloo¹

Alireza Bayat²

Bahareh Pirzadeh³

(Received Feb. 28, 2010 Revised Oct. 2, 2011 Accepted Oct. 12, 2011)

Abstract

Settling tanks are one of the main parts of treatment plants and different parameters are effective in the settling tank performance. In this study effects of some of these parameters such as the situation of the inlet opening as well as the existence and position of baffles in the tanks are investigated. 2D numerical simulations of primary settling tanks are carried out using 2D Fluent software and the best position for the inlet to enhance the their performance found to be in the middle of the tank with optimum size of the baffle about 30% the height of settling tank at a distance about 5-10% settling tank's length.

Keywords: Settling Tank, Eddy, Baffle, Turbulence, Fluent.

1. Assist. Prof., Dept. of Civil Eng., Khajeh Nasireddin Toosi University of Tech., Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 88779473
hshamloo@kntu.ac.ir

2. M.Sc. of Civil Eng., Khajeh Nasireddin Toosi University of Tech., Tehran

3. Ph.D. Student of Civil Eng., Dept. of Civil Eng., Khajeh Nasireddin Toosi University of Tech., Tehran

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران (نویسنده مسئول) ۸۸۷۷۹۴۷۳ (۰۲۱) hshamloo@kntu.ac.ir

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

۳- دانشجوی دکتری عمران آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی، تهران

بافل و همچنین موقعیت بافل نسبت به ورودی بر الگوی جریان نواحی چرخش جریان در حوضچه، با استفاده از نسخه شش نرم افزار فلوئنت بررسی شد. به علت عرض زیاد حوضچه و تأثیر کم دیواره‌های جانبی مدل دو بعدی ایجاد شده با مدل سه بعدی شباهت زیادی دارد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- معادلات حاکم بر جریان

به منظور حل عددی، میدان جریان به صورت دائم، دو بعدی، غیرشناور و غیرقابل تراکم در نظر گرفته شد. معادله پیوستگی و مومنت در راستاهای x, y به ترتیب به صورت زیر هستند

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial y} \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial v}{\partial y} \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

که در این روابط

u سرعت در جهت افقی (x)، v سرعت در جهت عمودی (y)، ρ چگالی، ν ویسکوزیته سینماتیکی و ν_t ویسکوزیته آشفتگی سیال هستند.

با توجه به کم بودن غلظت مواد معلق، از اثرات شناوری ناشی از اختلاف چگالی در آب صرف نظر شد.

فلوئنت نرم افزار تحلیل هیدرولیکی جریان است که برای تحلیل جریان از معادلات پیوستگی و ناویراستوکس استفاده می‌کند. این نرم افزار بر پایه روش حجم محدود و به زبان برنامه نویسی C نوشته شده و برای گسسته سازی معادلات دیفرانسیلی از روشهای مختلفی بهره می‌گیرد. به منظور کوپل کردن میدان سرعت و میدان فشار نیز الگوریتم‌های گوناگونی استفاده می‌شوند که قادر به مدل نمودن جریان‌های آشفته به کمک انواع مدل‌های آشفتگی هستند [۹].

در تحقیق قبلی انجام شده توسط نویسندگان مقاله، نقش مدل‌های مختلف آشفتگی موجود در نرم افزار فلوئنت بر الگوی جریان در حوضچه، مورد بررسی قرار گرفته است [۸]. با توجه به نتایج به دست آمده، مدل آشفتگی RNG k-ε به عنوان مناسب ترین مدل شناخته شد که در این پژوهش نیز از آن استفاده گردید. روش

نواحی چرخش به علت جریان ورودی همواره در حوضچه‌های ته نشینی وجود دارند. این نواحی از حجم مؤثر و کارایی حوضچه می‌کاهند. استفاده از تیغه‌های جداکننده جریان یکی از روشهای کاهش این نواحی و افزایش راندمان حوضچه است. تاکنون مطالعات متعددی به منظور بررسی اثر بافل‌ها بر هیدرولیک جریان درون حوضچه صورت گرفته است. این مطالعات با کار هیزن^۱ آغاز شد [۱]. هیزن در تئوری حوضچه ایده آل، یک سرعت ته نشینی واحد برای تمام مواد معلق فرض کرد و اثر تعلیق مجدد ذرات را پس از ترسیب به علت آشفتگی در نظر نگرفت. تحقیقات دیگری توسط لارسن^۲ و ایمام^۳ در زمینه آزمایشگاهی انجام شد که آزمایش‌های تجربی آنها به صورت منبعی برای بیشتر محققان بعد مورد توجه قرار گرفته است [۲ و ۳].

ردی^۴ مدل کامل تری برای محاسبه جریان ارائه داد که در آن لزجت گردابه‌ای از معادلات انتقال انرژی جنبشی آشفتگی و نرخ اتلاف آن که ضرایب ثابتش توسط خود ردی و با انجام آزمایش‌های تجربی به دست آمده بود، محاسبه شد [۴]. سپس آدامس^۵ و ردی مدل سازی مناسبی با در نظر گرفتن بافل در حوضچه ته نشینی انجام داده‌اند و در حل معادلات، روش کوئیک^۶ را به جای استفاده از روش هیبرید^۷ توصیه کرده‌اند [۵]. نتایج استامو و همکاران^۸ نشان داده که در حوضچه‌های ته نشینی که غلظت مواد معلق در ورودی از ۲۰۰ میلی گرم در لیتر کمتر باشد، می‌توان از اثرات شناوری و تأثیرات ذرات جامد بر جریان آب صرف نظر نمود [۶].

شاملو و سیواکومار^۹ در سال ۱۹۹۸ به بررسی اثرات آشفتگی جریان در حوضچه‌های ترسیب پرداختند [۷]. پس از آن در مطالعه دیگری شاملو و بیات به مقایسه مدل‌های آشفتگی مختلف در نرم افزار فلوئنت^{۱۰} در پیش بینی میدان جریان در حوضچه‌های رسوب گذار پرداخته و پس از مقایسه نتایج به دست آمده با داده‌های آزمایشگاهی محققان مختلف، استفاده از مدل آشفتگی RNG k-ε را با توجه به حصول نتایج مناسب در زمان محاسباتی کمتر نسبت به سایر مدل‌ها، توصیه نموده‌اند [۸].

در این مطالعه، اثر محل ورودی حوضچه و شکلهای مختلف

¹ Hazen

² Larsen

³ Imam

⁴ Rodi

⁵ Adams

⁶ Quick

⁷ Hybrid

⁸ Stamou et al.

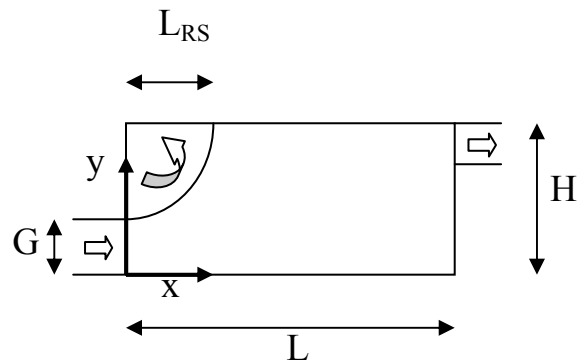
⁹ Sivakumar

¹⁰ Fluent

RNG K-ε مدلی اصلاح شده از خانواده مدل های K-ε است. این مدل نسبت به روش استاندارد، در جریان چرخشی، کارایی بیشتری دارد و برخلاف آن به منظور تعیین اعداد آشفتگی پراتنل از رابطه تحلیلی استفاده می کند.

۳- مدلسازی عددی

ابعاد و هندسه حوضچه مدلسازی شده، بر اساس حوضچه آزمایشگاهی در دانشگاه کالسروه^۱ است که مورد استفاده مک کورکودل^۲ قرار گرفته است و ابعاد آن در شکل ۱ نمایش داده شده است. مخزن دارای ارتفاع ورودی از کف ۳ سانتی متر (G)، ارتفاع آب ۱۰ سانتی متر (H)، طول حوضچه ۷۳ سانتی متر (L) و دبی در واحد عرض ۵۳/۹ cm³/s.cm (q) است. شکل ۱ شرایط مرزی حوضچه را نشان می دهد.



شکل ۱- ابعاد حوضچه مورد استفاده [۱۰]

برای ایجاد مناسب ترین شبکه برای شبیه سازی مدل عددی، با مقایسه نتایج سرعت حاصل شده در یک مقطع مشخص، اندازه مناسب شبکه ۲۰×۱۴۶ با فواصل گره ای ۰/۰۵ متر تشخیص داده شد. در مقایسه مدل به منظور کالیبراسیون، انطباق مناسبی بین نتایج عددی با نمونه آزمایشگاهی مک کورکودل ایجاد گردید که از نقاط قوت این پژوهش محسوب می گردد. فرض کم بودن غلظت مواد معلق (کمتر از ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) و صرف نظر از اثرات شناوری ناشی از اختلاف چگالی نیز محدودیت پژوهش است [۱۰].

۴- نتایج

۴-۱- بررسی تغییرات جایگاه ورودی جریان

در تصفیه خانه های آب به منظور تصفیه مناسب از صافی استفاده می شود که بستر آن اغلب توسط طراحان و بر اساس اصول راهبری تصفیه خانه ها انتخاب می شود [۱۱]. در تصفیه خانه های فاضلاب،

ابعاد و هندسه حوضچه در این عمل مؤثر است. در این تحقیق برای ایجاد فضای مناسب برای ته نشینی مواد معلق درون آب و برجای ماندن رسوبات در محل ته نشینی، در اولین مرحله از تغییرات هندسه ای، تأثیر تغییر جایگاه ورودی حوضچه رسوب گذار بررسی شد. به این منظور، هندسه مدل در ۹ حالت طراحی شد و تغییرات جایگاه ورودی در جهت قائم (Δy) به مقدار ۰/۱ عمق کل (H) صورت گرفت و ارتفاع ورودی (G) ۰/۲ عمق کل حوضچه ته نشینی (H) فرض شد. عرض دریچه ورودی، شرایط اولیه و شرایط مرزی در کلیه حالتها ثابت در نظر گرفته شد. شکل ۲، نمونه هایی از خطوط جریان را برای عمقهای مختلف ورودی نشان می دهد. در شکل y/H نسبت فاصله کف تا ورودی (y) به ارتفاع کل حوضچه ته نشینی است. با توجه به این شکل، تعبیه ورودی بالاتر از کف مخزن باعث ایجاد جریان چرخشی در کف حوضچه می گردد که این امر موجب کم شدن طول مؤثر در کف، به منظور ته نشینی می شود. ناحیه چرخشی در کف را می توان در حالت های ب و ج مربوط به شکل ۲ مشاهده نمود. از طرفی طول ناحیه جداشدگی جریان، مؤلفه ای مناسب برای تشخیص میزان ناحیه باز چرخشی است. در حالت های الف و د مربوط به شکل ۲ جریان چرخشی بزرگی قابل مشاهده است که سطح زیادی از حوضچه را به خود اختصاص داده است.

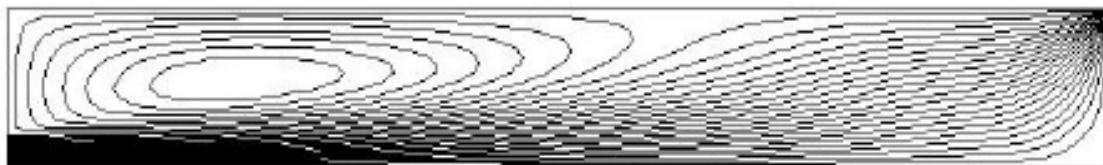
در جدول ۱ مقادیر طول جداشدگی در سطح (L_{RS}) و کف (L_{RB}) برای انواع مختلف هندسه حوضچه ته نشینی با تغییر ارتفاعی جایگاه ورودی برای ۹ حالت مذکور، آورده شده است. با توجه به طول ناحیه مرده حاصل شده، فواصل کف جایگاه ورودی از کف حوضچه Y/H برابر ۰/۳~۰/۴ و در حدود میانه ارتفاع مناسب تشخیص داده شد.

۴-۲- بررسی اثر ارتفاع دیواره منحرف کننده جریان

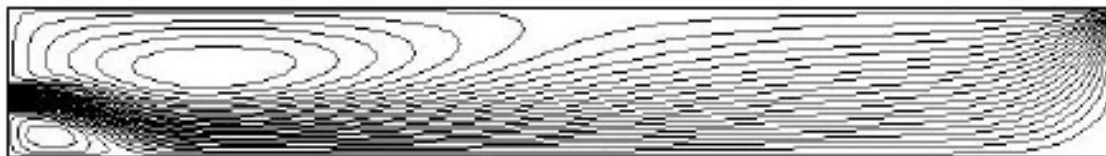
برای کاهش مناطق چرخشی در حوضچه ته نشینی که از انرژی جنبشی قسمت ورودی حاصل می شود، استفاده از تیغه جدا کننده یا دیواره منحرف کننده جریان، توصیه شده است. برای بررسی نقش ارتفاع این دیواره، چندین حالت مختلف با شرایط مرزی و اولیه مشابه مدل تولید شده استفاده شد. برای اینکه بتوان به ارتفاع بهینه دیواره منحرف کننده جریان پی برد، تیغه منحرف کننده جریانی در فاصله x/L برابر ۰/۲۷ از ورودی حوضچه فرض شد که در آن فاصله افقی از ابتدای حوضچه (x) و طول کل حوضچه (L) است و ارتفاع آن در هر حالت ۰/۱ متر افزوده می شود. در شکل ۳ مساحت و محل سرعت های مثبت و منفی در راستای عمودی و افقی مشخص شده است.

¹ Karlsruhe

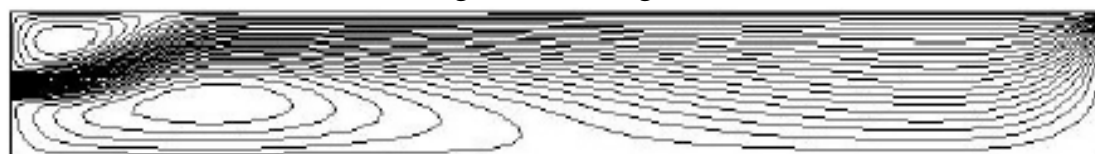
² Mc Corquodale



الف- ورودی از کف



ب- نسبت ارتفاع کف ورودی به ارتفاع حوضچه ۰/۳



ج- نسبت ارتفاع کف ورودی به ارتفاع حوضچه ۰/۴

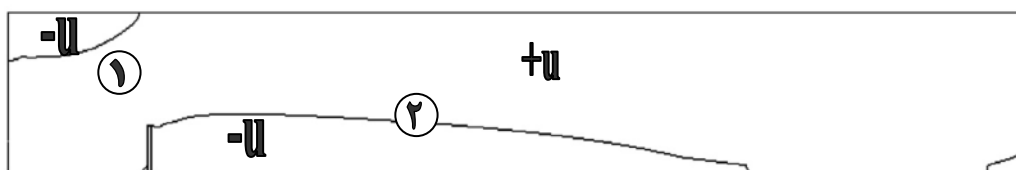


د- ورودی در سطح

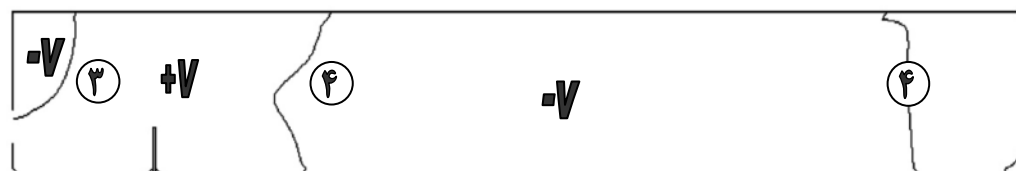
شکل ۲- منتخب خطوط جریان در عمقهای مختلف ورودی

جدول ۱- طول نقطه جداشدگی جریان در سطح (L_{RS}) و کف (L_{RB}) حوضچه‌های ته‌نشینی با توجه به ارتفاع ورودی جریان به حوضچه

Y/H نسبت ارتفاع کف ورودی به ارتفاع حوضچه	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸
L_{RS}/L طول بی‌بعد شده ناحیه جدایی جریان در سطح	۰/۴۸۷	۰/۴۲۸	۰/۳۹۳	۰/۳۸۷	۰/۰۹۵	۰/۰۷۱	۰/۰۴۸	۰/۰۲	۰
L_{RB}/L طول بی‌بعد شده ناحیه جدایی جریان در کف	۰	۰/۰۱	۰/۰۴۵	۰/۰۶۹	۰/۳۸۸	۰/۳۸۹	۰/۴۲۷	۰/۴۳۸	۰/۴۹۶



الف- خط جدایی، سرعتهای افقی،



ب- خط جدایی سرعتهای عمودی

شکل ۳- خطوط جدایی سرعت برای حوضچه دارای دیواره منحرف کننده جریان

مؤثری در تولید آسفستگی بر روی دیواره منحرف کننده ایجاد می‌کند. در مجموع نسبت ۰/۳ به عنوان مناسب‌ترین نسبت ارتفاع دیواره به ارتفاع حوضچه، معرفی می‌گردد.

۴-۳- تغییرات طولی جایگاه تیغه منحرف کننده جریان

در این بخش، موقعیت دیواره منحرف کننده جریان با ارتفاع (y/H برابر ۰/۳) در فواصل مختلف نسبت به ورودی، در حوضچه ته‌نشینی مدل گردید و نتایج حاصل مقایسه شد. با علم بر تأثیر کم دیواره منحرف کننده در فاصله دور از ورودی بر میدان جریان، مدلسازی در شش حالت مختلف برای دیواره‌ای در فواصل x برابر ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵، ۰/۳ صورت گرفت.

در این بخش از مقایسه سرعت عمودی برای تحلیل شرایط استفاده شد. در این مورد نیز جهت سرعت جریان در طول حوضچه به سمت بالا است و چنانکه سرعت عمودی زیاد باشد، باعث معلق شدن ذرات ته‌نشینی شده می‌گردد. در جدول ۳ می‌توان نتایج محاسبات انجام شده را مشاهده نمود. با توجه به این جدول می‌توان دریافت که با افزایش فاصله دیواره منحرف کننده تا ورودی، طول نقطه جدایی جریان به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد. این حالت و افزایش سطح منفی عمودی جریان بالای ورودی، نشان‌دهنده افزایش ناحیه جریان چرخشی است که در ته‌نشینی مناسب نیست. هرچه دیواره منحرف کننده جریان به ورودی نزدیکتر باشد، سطح محاسبه شده سرعت منفی عمودی نیز افزایش می‌یابد که شرایط مناسب برای ته‌نشینی را فراهم می‌کند. با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان نسبت فاصله بین ۰/۱ و ۰/۰۵ را برای جایگاه دیواره منحرف کننده مناسب دانست.

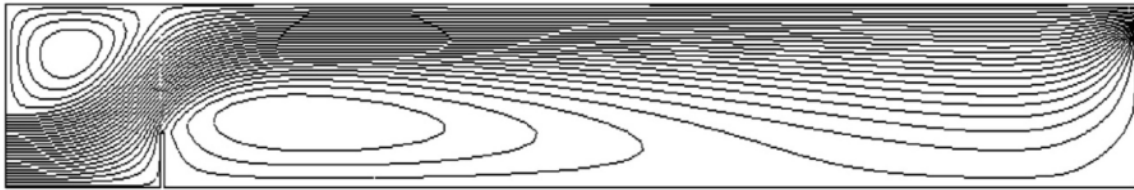
با توجه به نتایج حاصل شده مشاهده شد که جریان پس از برخورد به دیواره به سمت سطح منحرف شده و پس از آن در جهت عمودی با سرعت بسیار ناچیز به سمت کف حرکت نموده تا در نزدیکی سرریز مجدداً سرعت عمودی مثبت می‌گردد. لازم به ذکر است که در ناحیه چرخشی بالای ورودی به دلیل گردش جریان، سرعت عمودی منفی وجود دارد. این سطح به صورت مستقل اندازه‌گیری شد و برای سنجش تفاوت‌های سطوح ناحیه چرخشی در شرایط مختلف مورد استفاده قرار گرفت. در جدول ۲ نتایج مساحت‌های به دست آمده از سرعت‌های افقی و عمودی با شرایط متغیر ارتفاع دیواره منحرف کننده جریان آورده شده است. در این جدول، A سطح مقطع کل حوضچه ته‌نشینی، A₁ مساحت ناحیه سرعت افقی منفی واقع در بالای ورودی، A₂ مساحت ناحیه سرعت افقی منفی بعد از بافل، A₃ مساحت ناحیه سرعت عمودی منفی واقع در بالای ورودی و A₄ مساحت ناحیه سرعت عمودی منفی واقع در بعد از دیواره منحرف کننده جریان است. در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع، سرعت افقی منفی بالای ورودی، سطح بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد به طوری که مقدار افزایش یافته آن شش برابر حالتی است که در حوضچه، دیواره منحرف کننده جریان نباشد. با افزایش ارتفاع تیغه منحرف کننده، ابتدا سرعت عمودی منفی کاهش یافته و سپس با افزایش ارتفاع دیواره به ۰/۳ متر، به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد و پس از آن مجدداً روند نزولی را در پیش می‌گیرد. ناحیه حاوی جریان با سرعت عمودی منفی محل مناسبی برای ترسیب است و کاهش ناحیه مرده‌ای در بالای تیغه که با افزایش ارتفاع دیواره منحرف کننده جریان روی می‌دهد، با توجه به توضیحاتی که قبلاً داده شد مناسب است. اما نکته قابل توجه جمع شدن جریان بر روی سطح است که نقش

جدول ۲- مساحت سرعت‌های افقی و عمودی مربوط به تغییرات ارتفاع دیواره منحرف کننده جریان

h/H	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹
A ₁ /A	۰/۰۷۸	۰/۰۹۳	۰/۱۳۸	۰/۱۸۹	۰/۲۶۷	۰/۳۰۲	۰/۳۴۲	۰/۴۰۴	۰/۴۳۹	۰/۴۸۹
A ₃ /A	۰/۰۵۴	۰/۰۴۹	۰/۰۳۶	۰/۰۳۲	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴۶	۰/۰۲۳۲	۰/۰۲۴۶
A ₄ /A	۰/۰۵۸۲	۰/۰۵۰۴	۰/۰۵۸۲	۰/۰۶۱۱	۰/۰۶۰۲	۰/۰۵۹۷	۰/۰۵۷۲	۰/۰۴۵۶	۰/۰۵۲۳	۰/۰۵۱۷

جدول ۳- طول و مساحت سرعت‌های منفی حاصل از تغییرات فاصله دیواره منحرف کننده جریان

درصد x/L	۳/۴	۶/۸	۱۳/۶	۲۰	۲۷/۵	۳۵	۴۰
نسبت x/G	۰/۶۲۵	۱/۲۵	۲/۵	۳/۷۵	۵	۶/۲۵	۷/۵
L _{RS} /L	۰/۰۵۴۱	۰/۰۷۶۲	۰/۱۲۸۹	۰/۱۹۰۸	۰/۲۴۷۳	۰/۳۲۲۳	۰/۳۷۶۶
A ₂ /A	۰/۲۴۱۱	۰/۱۹۳۲	۰/۱۵۲۱	۰/۱۳۸۴	۰/۱۳۰۱	۰/۱۲۴۷	۰/۱۱۲۳
A ₃ /A	۰/۰۰۹۶	۰/۰۱۵۱	۰/۰۳۱۵	۰/۰۶۴۴	۰/۱۰۴۱	۰/۱۳۰۱	۰/۱۳۰۱
A ₄ /A	۰/۷۱۶۴	۰/۶۷۱۲	۰/۵۹۰۴	۰/۵۲۱۹	۰/۴۵۷۵	۰/۴۰۴۱	۰/۳۲۷۴



شکل ۴- خطوط جریان در حوضچه به همراه دیواره منحرف کننده جریان ایده آل

۵- نتیجه گیری

در حوضچه های ته نشینی اولیه وجود نواحی چرخشی عامل اصلی بروز مشکل است. هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیرات برخی از پارامترهای هندسی نظیر محل جایگاه ورودی جریان و استفاده از تیغه منحرف کننده جریان بر بازده حوضچه های ته نشینی با استفاده از نسخه شش کد تجاری فلوئنت بود. با بررسی نتایج حاصل از تغییرات ارتفاعی ورودی و تشریح نواحی مختلف،

جریان میانه عمق حوضچه ته نشینی به عنوان مناسب ترین جایگاه ورودی تشخیص داده شد. با بررسی اثر تغییرات ارتفاع بافل بر جریان درون حوضچه، نسبت ۰/۳ برای ارتفاع بافل به عمق حوضچه مناسب تشخیص داده شد. همچنین فاصله بهینه دیواره منحرف کننده با ورودی جریان به درون حوضچه، بین ۵ درصد و ۱۰ درصد طول حوضچه ته نشینی انتخاب گردید.

۶- مراجع

- 1- Hazen, A. (1904). "On sedimentation." *J. of Transactions, ASCE*, 53(980), 45-71.
- 2- Larsen, P., and Gotthardson, S. (1977). *On sedimenting hydraulic*, J. Bulletin Erie A. Nr. Inst. For Tekniks Vattenresurslare, Lund, Sweden.
- 3- Imam, E., and Mc Corquodale, J.A. (1983). "Numerical modeling of sedimentation tanks." *Proc. ASCE 109 (HY 12)*, USA, 1740-1754.
- 4- Rodi, W. (1984). *Turbulence model and their application in hydraulics-A state of the art review*, 2nd Ed., University of Karlsruhe, West Germany.
- 5- Adams, E.W., and Rodi, W.R. (1990). "Modeling flow and mixing in sedimentation tanks." *J. of Hydraulic Engineering*, 116(7), 895-913.
- 6- Stamou, A.I., Adams, E.W., and Rodi, W. (1989). "Numerical modeling of flow and settling in primary rectangular clarifiers." *J. of Hydraulic Research, ASCE*, 27(5), 665-681.
- 7- Shamloo, H., Sivakumar, M., and Lawe, S.A. (1998) "Turbulence effects in sedimentation tanks." *Proc. Asian Conference on Water and Wastewater Management*, Tehran, Iran
- 8- Shamloo, H., and A., Bayat (2007). "Comparison of different methods of hydraulics analysis of primary settling tanks and laboratory model results." *4th National Civil Engineering Congress*, Tehran University, Tehran. (In Persian)
- 9- FLUENT User's Guide Manual. (2003). Version 6.1. Fluent Incorporated, N.H.
- 10- Mc Corquodale, J.A., Moursi, A.M., and El-Sebakhy, I.S. (1988). "Experimental study of flow in settling tanks." *J. of Environmental Engineering*, 114(5), 1166-1174.
- 11- Water and Wastewater Consulting Engineers (research and design). (2004). "Basic guidance of water treatment plants." *J. of Water and Wastewater*, 50, 66-70. (In Persian)