

بررسی تجربی تاثیر بافل در پروفیل سرعت حوضچه رسوب‌گذار

امیر کریم دوست یاسوری*

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

محسن قاسمی

دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی مکانیک، تهران، ایران

بهار فیروزآبادی

استاد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی مکانیک، تهران، ایران

چکیده

یکی از مراحل اصلی در فرایند تصفیه آب، عبور آن از حوضچه‌های رسوب‌گذار می‌باشد. افزایش بازده یک حوضچه، به علت تغییر مشخصات آب ورودی یا افزایش جمعیت شهر کاملاً توجیه‌پذیر است و همواره مورد توجه بوده است. در این پروژه اثر تغییر محل بافل میانی به عنوان یکی از پارامترهای موثر در هندسه حوضچه و همچنین اثر تغییر دبی، در پروفیل سرعت حوضچه به صورت تجربی بررسی شده است. آزمایش‌ها در کانال موجود در آزمایشگاه تحقیقاتی سیالات انجام شده است. در این تحقیق تجربی، حوضچه‌های مستطیلی در دو حالت با بافل میانی و بدون آن در شرایط مختلف کاری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. حوضچه مستطیلی مورد آزمایش ابعاد $12\text{ m} \times 0.2\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ را دارد. ارتفاع بافل 7.5 cm بوده و تاثیر آن بر روی پروفیل سرعت در فواصل 1.2 m و 4 m از ابتدای حوضچه در دو دبی کامل و نصف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در حوضچه‌های بافل‌دار توزیع سرعت، به خصوص در نیمه دوم، در مقایسه با حالت بدون بافل، یکنواخت‌تر است، جت کف در قسمت دوم وجود ندارد، میزان اتصال کوتاه کاهش می‌یابد و کارایی بافل میانی در شرایط دبی بالا، کم خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بافل، حوضچه مستطیلی، پروفیل سرعت، سرعت سنج صوتی داپلر.

Experimental Study of Effect of Baffle on the Velocity Profile of Sedimentation Tank

A. Karimdoost Yasuri

Department of Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran

M. Ghasemi

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

B. Firoozabadi

Department of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

The use of sedimentation tanks is one of the main steps in the water treatment process. Increase of the tank efficiency, due to change in input water characteristics or population increase is justifiable and has always been considered. In this project, the effect of middle baffle position as an effective factor in the tank geometry and change of flow rate in the velocity profile of tank have been studied experimentally. Measurements have been carried out in channel available in the fluid research laboratory. Rectangular tanks are studied in two cases of with and without middle baffle in operational different conditions. Dimension of rectangular tanks is $12\text{ m} \times 0.2\text{ m} \times 0.3\text{ m}$. Baffle height is 7.5 cm and its effect on the velocity profile in distances of 1.2 m and 4 m from inlet of the tank in both full and half rate have been studied. Results show that the velocity distribution of baffled tank, especially in the second half of tank, compared to without baffle one, is more uniform. In the second half, Jet flow disappears, short circuiting is reduced and the efficiency of the middle baffle in high rate flow conditions will be reduced.

Keywords: Baffle, Rectangular tanks, Velocity profiles, ADV.

۱-مقدمه

شدن شهرها، نیاز به آب فراوان و سالم، ایجاد مکانهایی برای تامین نیازهای آب شرب و مصرفی مردم را اجتناب‌ناپذیر ساخت. به همین منظور تصفیه‌خانه‌ها به وجود آمدند. در ابتدا، کار تصفیه‌خانه‌ها صاف-کردن آب و زدودن گل و لای بود؛ ولی به تدریج اعمال مهم دیگری مانند ضدعفونی کردن و میکروب‌کشی هم به آن اضافه شد. یکی از اساسی‌ترین بخشهای تصفیه آب و فاضلاب، ته‌نشین کردن ذرات معلق ریز و درشت آن است که قسمت اعظم این کار در حوضچه‌های ته‌نشینی صورت می‌گیرد. با طراحی درست استخرهای ته‌نشینی علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه هنگفت ساخت و بهره‌برداری استخرهای ته‌نشینی، باعث بالا رفتن عمر قسمت‌های دیگر تصفیه‌خانه که اغلب بعد از استخر ته‌نشینی قرار دارند می‌شود.

چندین سال است که به علت همین هزینه‌های بالا، طراحان این نوع استخرها دیگر به فکر بالا بردن راندمان این حوضچه‌ها از طریق زیاد کردن طول نیستند؛ بلکه راه‌حل‌های جدیدی از نوع تغییر هندسه حوضچه چون تغییر ورودی و خروجی، افزودن پله، افزودن بافل و ... را

هزینه حوضچه‌های رسوب‌گذار حدود ۳۰٪ کل هزینه فرایند تصفیه آب است [۱]. بنابراین عملکرد این حوضچه‌ها بطور مستقیم راندمان رسوبگذاری حوضچه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در نتیجه، طراحی حوضچه‌ها با نرخ رسوبگذاری و راندمان هیدرولیک بالا ضروری بوده و موضوع بسیاری از تحقیقات تجربی و عددی بوده است.

تحقیقات گذشته [۲-۴] نشان داده است که راندمان رسوبگذاری در حوضچه‌ها، متأثر از میدان جریان و لذا متأثر از هندسه حوضچه است. در این راستا نشان داده شده است که تغییر شکل سرریزهای ورودی و خروجی و شکل بافل‌ها و محل آن‌ها هندسه حوضچه را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. ذرات موجود در آب ورودی تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله چسبندگی و اندرکنش با یکدیگر قرار دارند که امکان بررسی رسوب نظری‌شان را کمتر ممکن می‌سازد؛ لذا بررسی تجربی آن‌ها و اثر حضور آن‌ها در حوضچه و رسوبگذاری‌شان باید به صورت تجربی بررسی شود. از سوی دیگر با توسعه شهرنشینی و بزرگ-

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: yasuri.am@lu.ac.ir

امتحان می‌کنند [۵-۶]. از جمله معضلات حوضچه‌های رسوبگذار این است که در آنها نواحی با چرخشی شدید به وجود می‌آید. این پدیده باعث ایجاد اتصال کوتاه، افزایش نواحی مرده، بالا بردن میزان اختلاط و ممانعت از ایجاد بستری آرام برای رسوبگذاری می‌شود. همواره سعی بر این است که با تغییر هندسه جریان و به تبع آن تغییر الگوی جریان بازده حوضچه افزایش یابد. بنابراین در طراحی حوضچه‌ها سعی بر این است که تا حد امکان جریان سیال به صورت یکنواخت باشد تا از تشکیل گردابه‌ها که یکی از موانع ته‌نشینی ذرات می‌باشد جلوگیری شود.

تمایل و همکاران [۷] در شبیه‌سازیهای عددی خود در سه موقعیت مکانی مختلف ورودی (در سطح، میانه و کف)، عملکرد حوضچه مشابه حوضچه سارنیا، اونتاریو^۱ را مورد مقایسه قرار دادند و مشاهده کردند زمانی که ورودی در میانه قرار دارد، حجم ناحیه گردابه‌ای (حجم مرده) کوچکتر از سایر حالات می‌باشد و احتمال اتصال کوتاه ورودی به خروجی کمتر از دو حالت دیگر می‌باشد. در مجموع زمانی که ورودی در میانه قرار می‌گیرد بهترین بازده را خواهیم داشت. همچنین حالتی که ورودی از کف وارد می‌شود، بهتر از حالتی می‌باشد که ورودی در سطح قرار دارد.

احمد و همکاران [۸] تاثیر موقعیت مکانی و ارتفاع بافل ورودی را در یک حوضچه رسوب‌گذار ثانویه آزمایشگاهی که ابعاد کوچک یک حوضچه واقعی بود، مورد بررسی قرار دادند. آنها، سه موقعیت مکانی بافل ورودی و چهار ارتفاع مختلف این بافل را مورد بررسی قرار دادند و بهترین بازده حوضچه را زمانی که بافل ورودی در ۵٪ ابتدای حوضچه (ورودی) قرار داشت و ۶۷٪ عمق حوضچه را در بر می‌گرفت، مشاهده کردند.

یانگ و همکاران [۹] به بررسی تجربی بر روی میرایی هیدرودینامیک ایجاد شده به وسیله بافل‌های عمودی در حوضچه مستطیلی پرداختند. نتایج نشان داد که اندازه و موقعیت بافل‌های عمودی بطور قابل توجه‌ای میرایی هیدرودینامیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عموماً نسبت میرایی- یک عدد بی بعد که نشان می‌دهد چطور نوسانات در سیستم بعد از یک اغتشاش می‌میرد- وقتی که لبه صفحه بافل پایینی نزدیک سطح آزاد مایع قرار می‌گیرد و بافل در نزدیکی میانه حوضچه قرار می‌گیرد، افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد بافل‌ها، نسبت میرایی افزایش می‌یابد.

همچنین شرودر و تائبی هرندي در تحقیقات آزمایشگاهی خود در یک حوضچه مستطیلی به این نتیجه رسیدند که ساختار ورودی اثر مهمی بر میزان غلظت رسوب در خروجی دارد. نتایج آزمایشهای آنها نشان داد که نه تنها استفاده از سوراخهای چندگانه با توزیع یکنواخت، کیفیت سیال خروجی از حوضچه را نسبت به حالتی که سیال از زیر وارد حوضچه می‌شود، بهبود بخشید؛ بلکه اثر معکوس بر بازده و کیفیت حوضچه نسبت به حالتی که سیال از زیر وارد حوضچه می‌شود، داشت [۱۰].

تحقیقات [۱۱] همچنین نشان داده است که با طراحی مناسب ورودی و خروجی، تقریباً ایده‌آل‌ترین الگوی جریان در حوضچه‌های مستطیلی قابل حصول است. مانک، نسبت طول به عرض ۶ یا ۷ را به

سبب کنترل بهتر بر پدیده اتصال کوتاه برای حوضچه‌های مستطیلی پیشنهاد کرد [۶].

همچنین ثابت شده است با افزایش طول این حوضچه‌ها، کنترل بهتری بر پدیده اتصال کوتاه وجود خواهد داشت. مشاهدات تجربی نشان داده است که ورودی ایده‌آل باید به گونه‌ای طراحی شود که اولاً سرعت ورودی را کاهش دهد تا از جریان قوی به سمت خروجی جلوگیری کند. ثانیاً توزیع جریان در حوضچه به صورت یکنواخت صورت گیرد و سیال ورودی با آب موجود در تانک مخلوط شود و مانع ایجاد پدیده اتصال کوتاه گردد [۲].

مشاهدات کریبز [۱۲] نشان داد که پایین آوردن دریچه ورودی در حوضچه‌های مستطیلی اثرات جریان چگالی را کاهش می‌دهد. در حالت دریچه ورودی بزرگ و محل بالای آن جت کف چنان تشکیل می‌شود که تا انتهای حوضچه قدرت خود را حفظ می‌کند و اتصال کوتاه رخ می‌دهد. وقتی دریچه کوچک می‌شود و به پایین آورده می‌شود، جت کف دوباره با شدت زیادی تولید می‌شود؛ اما به سرعت قدرت خود را از دست خواهد داد و از میزان اتصال کوتاه کاسته خواهد شد و جریان یکنواخت‌تر می‌شود و زمان ماند ذرات بیشتر خواهد گردید. تمایل و همکاران [۱۳] به بررسی عددی هیدرودینامیک حوضچه‌های رسوبگذار و افزایش عملکرد آنها با استفاده از بافل پرداختند. آنها نشان دادند که نه عدد رینولدز و نه عدد فرود به تنهایی کفایت نمی‌کنند. همچنین اثر نیروی شناوری بر روی موقعیت مناسب بافل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که در اعداد رینولدز بالا، میدان جریان و موقعیت بافل تحت تأثیر عدد فرود ورودی قرار نمی‌گیرد. اصغرزاده و همکاران [۱۴] به بررسی تجربی تأثیر محل استقرار و ارتفاع بافل و بافل‌های ترکیبی میانی بر راندمان و هیدرودینامیک حوضچه‌های رسوبگذار ثانویه مستطیلی و نیز اثر غلظت سیال ورودی در عملکرد آنها پرداختند. نتایج نشان داد که بهترین موقعیت بافل و ارتفاع مناسب بافل به غلظت ورودی بستگی دارد ولی در هر صورت بافل میانی با یک ارتفاع مناسب کارآمد بوده و عملکرد حوضچه را افزایش می‌دهد.

لیو و همکاران [۱۵] اثر بافل بر مشخصات هیدرولیک و نرخ حذف رسوب را با استفاده از یک مدل دو فازی با ترکیب مدل آشفستگی k-ε بصورت عددی مورد بررسی قرار دادند. آنها یافتند که نرخ حذف ذرات معلق برای بافل در فاصله ۰/۵ تا ۲/۵ متری از ورودی حوضچه بیشتر از سایر نقاط است.

شاهرخی و همکاران [۱۶] به صورت تجربی به بررسی اثر زاویه بافل بر روی عملکرد حوضچه رسوبگذار پرداختند. کانال آنها دارای طول ۲۰۰ سانتیمتر، عرض ۵۰ سانتیمتر و ارتفاع ۳۱ سانتیمتر بود. نتایج آنها نشان داد یک زاویه ۹۰ درجه برای بافل بهترین وضعیت رسوبگذاری را ایجاد می‌کند. همچنین آنها پروفیل سرعت در عرض‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ سانتیمتری و در فواصل مختلف کانال را اندازه‌گیری کردند. مشاهده شد که تفاوت کمی در مقادیر سرعت وجود دارد بطوریکه می‌توان از اثرات دیواره چشم‌پوشی و جریان را دو بعدی فرض کرد.

در این پژوهش تجربی تأثیر بافل میانی و تغییر دبی بر هیدرودینامیک حوضچه‌های رسوبگذار ثانویه مستطیلی در عملکرد آنها بررسی و نتایج حاصل با حالت بدون بافل مقایسه گردیده است. تمام آزمایشهای این تحقیق در آزمایشگاه مکانیک سیالات دانشگاه صنعتی شریف انجام شده است. داده برداری سرعت توسط دستگاه سرعت‌سنج

¹Sarnia, Ontario

کوچک‌تر در بالای مخزن استوانه‌ای نصب شده است. آب از مخزن استوانه‌ای به مخزن کوچک پمپ می‌شود و لذا آب مخزن کوچک همواره در حال سرریز کردن به داخل مخزن استوانه‌ای می‌باشد. به این ترتیب ارتفاع آب در مخزن کوچک ثابت بوده و آب ورودی کانال از آن تامین می‌شود (شکل ۲).



(الف)



(ب)

شکل ۲- الف) مخزن استوانه‌ای تغذیه بالا و ب) مخزن کوچک بالا که همواره در حال سرریز است

یک لوله تخلیه و شیر چهار اینچ در انتهای کانال برای تخلیه سیال پس از آزمایش در سیستم پیش‌بینی شده است. آب پس از گذر از کانال و عبور از سرریز از لوله تخلیه چهار اینچ به درون مخزن پایین می‌ریزد. این مخزن یک مکعب به طول و عرض دو متر و ارتفاع حدوداً یک متر است که جهت دریافت دبی کانال و سیرکوله کردن استفاده می‌شود. مخزن‌های بالا و پایین به وسیله خط لوله و پمپ به هم متصل هستند.

۲-۲- سرعت سنج صوتی داپلر

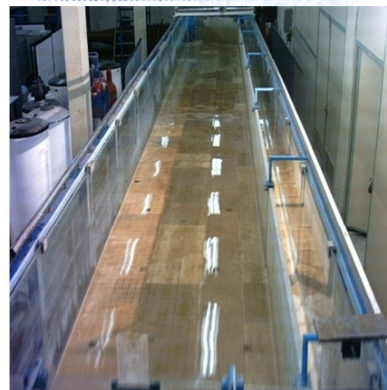
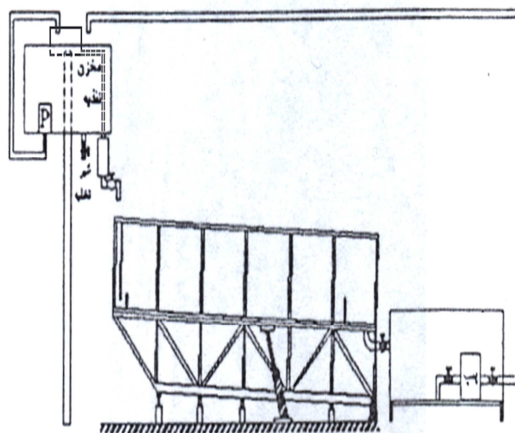
سرعت سنج صوتی داپلر، یک وسیله اندازه‌گیری با دقت بالاست که هر سه مولفه سرعت جریان را در سه راستای اصلی Z, Y, X در مختصات دکارتی اندازه می‌گیرد. اندازه‌گیری‌ها به کیفیت آب بستگی نداشته (حساس نمی‌باشد) و همین سبب کاربرد وسیع این وسیله می‌باشد. این سرعت سنج‌ها در آزمایشگاه‌ها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تحقیقات اقیانوس‌شناسی بکار گرفته می‌شوند. سرعت سنج‌ها از تکنیک حسگر صوتی برای اندازه‌گیری جریان در حجم نمونه‌گیری استفاده می‌کنند. بدین معنا که سیستم‌های داپلر صوتی به وسیله دریافت کردن سیگنال بازگشتی از ذرات درون آب عمل می‌کنند. این ذرات می‌توانند رسوبات،

آکوستیک^۱ ADV صورت گرفته که بر اساس قوانین داپلر عمل می‌کند. به کمک این دستگاه پروفیل‌های سرعت در امتداد کانال و برای موقعیت‌های مکانی متفاوت باطل در دو حالت دبی کامل و نصف مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- دستگاه‌های آزمایش و روش انجام آزمایش‌ها

۱-۲- کانال شبیه‌سازی حوضچه ته‌نشینی

این دستگاه کانالی به طول ۱۲ m عرض ۱/۷ m و ارتفاع ۰/۶ m است. عرض کانال توسط دیواره‌هایی از سنگ مرمر ساختمانی به دو قسمت ۲۰ سانتیمتری و ۱/۵ متری تقسیم شده است. ما برای انجام آزمایش‌های خود از قسمت ۲۰ سانتیمتری استفاده کرده‌ایم. تصویر این کانال در شکل ۱ آمده است. حوضچه مستطیلی مورد آزمایش دارای عرض، ارتفاع و طول به ترتیب ۰/۲، ۰/۳ و ۱۲ متر است.

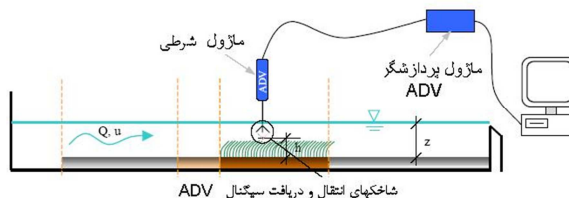


شکل ۱- از بالا به پایین به ترتیب شمای کانال شبیه‌سازی حوضچه ته‌نشینی و عکسی از حوضچه رسوبگذار

ساختمان کانال، سازه فلزی و دیوارهای شیشه‌ای داشته و کف آن نیز از سنگ مرمر ساختمانی که با دقت ۰/۲ میلیمتر کفسابی و مسطح شده، تشکیل شده است. برای تغییر شیب کف کانال از دو جک هیدرولیک و همچنین پیچهایی که در پایه‌ها و روی زمین تعبیه شده است استفاده می‌گردد. شیب کانال می‌تواند از صفر تا ۳/۵٪ تغییر کند. به منظور ایجاد دبی ثابت در ورودی کانال، باید ارتفاع آب در مخزن بالادست شیر ثابت بماند. برای رسیدن به این مقصود، یک مخزن

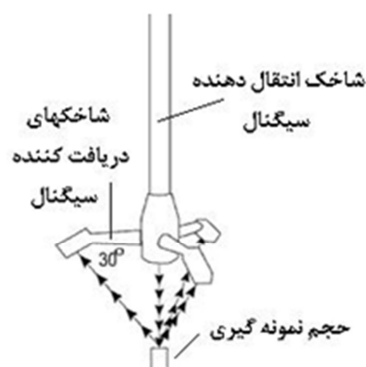
¹ Acoustic Doppler Velocimeter

حباب‌ها یا ذرات بیولوژیکی باشند. هرچه سیگنال قوی‌تر باشد سرعت سنج بهتر کار می‌کند [۱۷]. سرعت سنج ADV شامل سه ماژول می‌باشد (شکل ۳): الف- پروپ اندازه‌گیری، ب- ماژول پردازشگر به همراه سیم و ج- ماژول شرطی



شکل ۳- قسمت‌های مختلف سرعت سنج ADV

ماژول شرطی که استوانه قطور بالای پروپ را تشکیل می‌دهد دارای مدارات الکترونیکی با اغتشاشات ناچیز است که در برابر آب مقاوم می‌باشد. حسگر صوتی شامل یک حسگر انتقال‌دهنده و سه سنسور دریافت سیگنال می‌باشد. حسگر دریافتی بر روی سه شاخک کوچک که زاویه بینشان ۱۲۰ درجه می‌باشد نصب شده است (شکل ۴ را ببینید).



شکل ۴- از بالا به پایین به ترتیب نمایی از پروپ اندازه‌گیری و عکسی از سرعت سنج

در این سرعت سنج آزمایشگاهی، کارهای محاسباتی بر روی برد پردازشگری که روی کامپیوترهای شخصی قابل نصب می‌باشد انجام می‌گیرد. برای مشاهده نتایج آزمایشات نیاز به یک نرم‌افزار می‌باشد که وظیفه آن جمع‌آوری و مشاهده همزمان نتایج می‌باشد. نرم‌افزار تهیه شده برای کار با این دستگاه نتایج را به دو صورت جدول و نمودار نمایش می‌دهد.

۲-۳- روش انجام آزمایشها

آزمایش‌های انجام شده شامل تعیین پروفیل سرعت در چند موقعیت از کانال در ۶ حالت زیر است:

- دبی کامل - بدون بافل
- دبی نصف - بدون بافل
- دبی کامل - بافل نصب شده در فاصله ۱/۲m از ورودی
- دبی نصف - بافل نصب شده در فاصله ۱/۲m از ورودی
- دبی کامل - بافل نصب شده در فاصله ۴m از ورودی
- دبی نصف - بافل نصب شده در فاصله ۴m از ورودی

البته به منظور رسیدن به پروفیل دقیق‌تر، هر کدام از این ۶ حالت سه یا چهار بار انجام شده‌اند. منظور از دبی کامل، حداکثر دبی عبوری از شیر منتهی به کانال بوده و دبی نصف، برابر نصف حداکثر می‌باشد. ضمناً هر کدام از این آزمایش‌ها در فواصل ۱/۵، ۲/۶، ۳/۵، ۴/۶، ۵/۵ و ۶/۶ متری از ورودی کانال انجام گرفته است. کارهایی که قبل از انجام هر آزمایش انجام شدند عبارت بود از:

۱- پرکردن مخزن بالا از آب و پمپ کردن از مخزن بزرگ به کوچک: آب از مخزن پایین توسط پمپ به مخزن بالا فرستاده می‌شود و سپس به منظور ایجاد دبی ثابت در ورودی، توسط یک پمپ تخلیه مستغرق (لجن کش) از مخزن استوانه‌ای به مخزن کوچک بالا پمپ می‌گردد و به این ترتیب مخزن کوچک بالا همواره در حال سرریز بوده و باعث یکنواخت شدن دبی ورودی می‌شود.

۲- پر کردن کانال از آب

۳- نصب پروپ‌های سرعت سنج

۴- اندازه‌گیری و تنظیم دبی:

سنجش دبی از طریق اندازه‌گیری زمان پر شدن یک ظرف استوانه‌ای ۱۴ لیتری از آب شیلنگ ورودی کانال انجام گرفته است. این زمان در آزمایشات با دبی کامل ۲۱ ثانیه و در آزمایشات با دبی نصف ۴۲ ثانیه می‌باشد.

۵- اندازه‌گیری دما:

این کار با استفاده از دو دماسنج جیوه‌ای و چندین بار در طول آزمایش صورت می‌گرفت.

۶- وارد کردن اطلاعات اولیه به نرم‌افزار

دبی حجمی جریان در حالت دبی کامل برابر با ۴۰ لیتر بر دقیقه و عمق آب حدود ۳۰ سانتیمتر است. سرعت میانگین جریان را می‌توان بصورت $U_a = Q_0/A = 11.1 \text{ mm/s}$ بدست آورد. عدد رینولدز در ورودی و در داخل کانال به ترتیب از رابطه (۱) و (۲) قابل محاسبه است:

$$Re = U_a D_h / \nu \quad (1)$$

$$Re_{in} = U_{in} h_0 / \nu \quad (2)$$

۳-۲- پروفیل سرعت

پروفیل سرعت در دو بخش ابتدا در طول کانال بصورت شماتیک و همزمان و سپس در قسمت‌های مختلف کانال بطور مجزا نشان داده شده است.

۳-۲-۱- درامتداد کانال بطور همزمان

در شکل ۷ پروفیل سرعت در فواصل مختلف کانال در حالت بدون بافل بصورت طرحواره نشان داده شده است. برای بررسی آسانتر تغییرات پروفیل‌های سرعت در طول کانال، بطور همزمان در یک شکل نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این بخش مقایسه مقادیر سرعت بصورت طرحواره مدنظر بوده است. همانطور که دیده می‌شود اغتشاش جریان ناشی از جریان ورودی مشهود است. مخصوصاً در حالت دبی کامل در ورودی یک جریان برگشتی مشاهده می‌گردد که به شدت برای رسوبگذاری مخرب است. این شرایط نه تنها ته‌نشینی ذرات معلق را با مشکل مواجه می‌کند بلکه باعث معلق شدن مجدد رسوبات می‌شود [۱]. ولی وقتی از ورودی فاصله می‌گیریم، اغتشاشات جریان کاهش یافته و تقریباً از یک فاصله به بعد جریان به سمت جریان کاملاً توسعه یافته میل می‌کند. مقایسه پروفیل سرعت جریان در دو حالت با دبی کامل و نصف نشان می‌دهد که در حالت با دبی نصف جریان زودتر به حالت توسعه یافته می‌رسد و در نتیجه به جریان یکنواخت نزدیکتر است. همچنین در حالت با دبی نصف از یک فاصله به بعد به سمت بالا به طرف سطح حوضچه سرعت کاهش می‌یابد. مطابق جدول ۱، عدد رینولدز در ورودی و در کانال برای دو دبی نصف و کامل به ترتیب برابر با ۱۳۲۸ و ۲۶۵۶ بدست می‌آید. اگر مطابق تحقیقات گذشته [۱۸-۲۰] معیار آشفته یا آرام بودن جریان را شبیه جریان در لوله در نظر بگیریم که $Re > 2000$ را آشفته در نظر می‌گیرد. می‌توان گفت که جریان در کانال در حالت دبی نصف و کامل به ترتیب آرام و آشفته است. در شکل‌های ۷ و ۸ چه در حالت کانال بدون بافل و چه در حالت با بافل می‌توان مشاهده کرد که در حالتی که دبی کامل و جریان آشفته است پروفیل سرعت پهن‌تر و گرازیان سرعت در کف کانال بیشتر است و این موضوع مانع از یک رسوبگذاری مطلوب می‌شود. در مقابل در حالت کانال با دبی نصف و در نتیجه جریان آرام مشهود است که گرازیان سرعت در کف کمتر و در نتیجه شرایط برای رسوبگذاری مهیاتر است.

شکل ۸ پروفیل سرعت را در فواصل مختلف کانال با بافل در فاصله m $X=1/2$ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که سرعت جریان در حالت بافل‌دار نسبت به حالت بدون بافل به خصوص در نیمه دوم حوضچه یکنواخت‌تر است. به نظر می‌رسد با نصب یک بافل در ورودی کانال می‌توان از اغتشاش جریان ورودی کاست که با مشاهدات دیگر محققان نیز مطابقت دارد [۱۹، ۲۱]. با مقایسه پروفیل سرعت در دو حالت با دبی کامل و نصف مشاهده می‌شود که در حالت با دبی کامل اغتشاش جریان خصوصاً در نزدیکی کف کانال بیشتر بوده و همچنان در حالت با دبی نصف جریان یکنواخت‌تر است و همچنین نوسانات جریان کمتر است و این پدیده در نیمه دوم حوضچه خیلی شدیدتر و ملموس‌تر است. شکل ۹ پروفیل سرعت در فواصل مختلف کانال با بافل در فاصله $X=4m$ را نشان می‌دهد.

که در آن D_h قطر هیدرولیک کانال، h_0 ارتفاع ورودی کانال برابر با ۱ سانتیمتر، U_{in} سرعت در ورودی کانال و γ لزجت سینماتیکی آب در دمای ۲۰ درجه سلسیوس است. به همین ترتیب عدد فرود در ورودی و در داخل کانال به ترتیب از روابط (۳) و (۴) بدست می‌آید:

$$Fr = U_a / \sqrt{gH} \quad (3)$$

$$Fr_{in} = U_{in} / \sqrt{gh_0} \quad (4)$$

که در آن H ، همانطور که قبلاً بیان شد، ارتفاع کانال و معادل ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. می‌توان عدد ویر را در ورودی کانال بصورت رابطه (۵) تعریف کرد:

$$We_{in} = \rho h_0 U_{in}^2 / \gamma \quad (5)$$

که در آن ρ و γ چگالی و کشش سطحی آب است. جدول ۱ شرایط آزمایش شامل اعداد رینولدز، فرود و ویر در دو دبی مختلف آمده است:

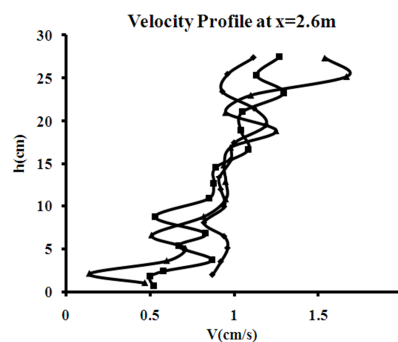
جدول ۱- شرایط آزمایش

Q(lit/min)	Re	Re _{in}	Fr	Fr _{in}	We _{in}
۴۰	۳۳۲۰	۳۳۲۰	۰/۰۰۶	۱/۰۶	۱۵/۲
۲۰	۱۶۶۰	۱۶۶۰	۰/۰۰۳	۰/۵۳۲	۳/۸

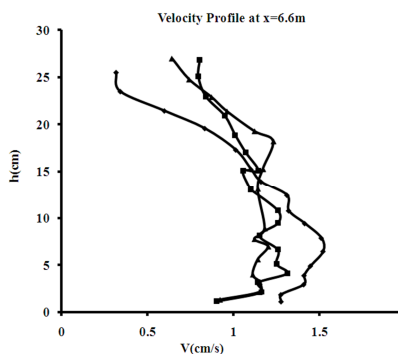
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تکرارپذیری آزمایش

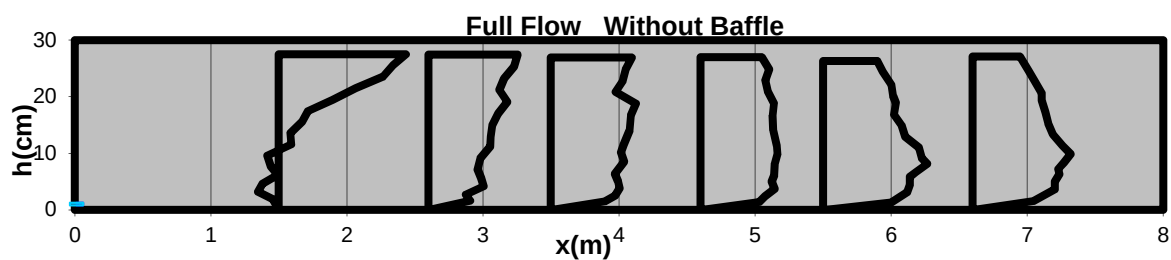
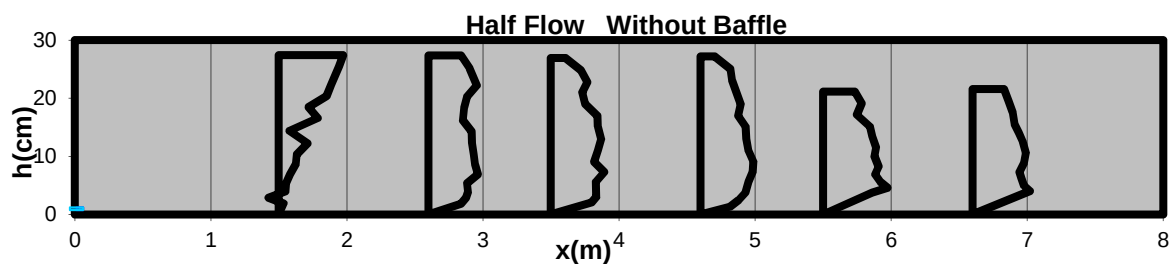
شکل‌های ۵ و ۶ دو مورد از تکرار آزمایشها را برای دو حالت به ترتیب بدون بافل و دبی کامل و حالت بافل‌دار در فاصله ۴ متری و دبی کامل را نشان می‌دهد. مقایسه پروفیل‌های جریان در شرایط مختلف کاری نشان می‌دهد که تکرار آزمایش‌ها با تقریب بسیار خوبی همدیگر را تأیید می‌کنند.



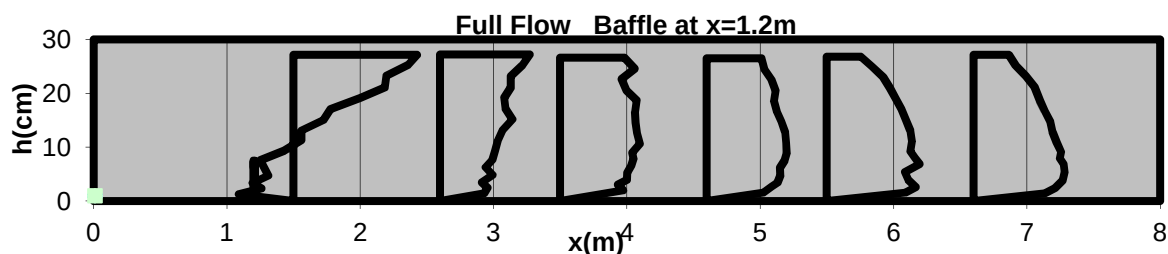
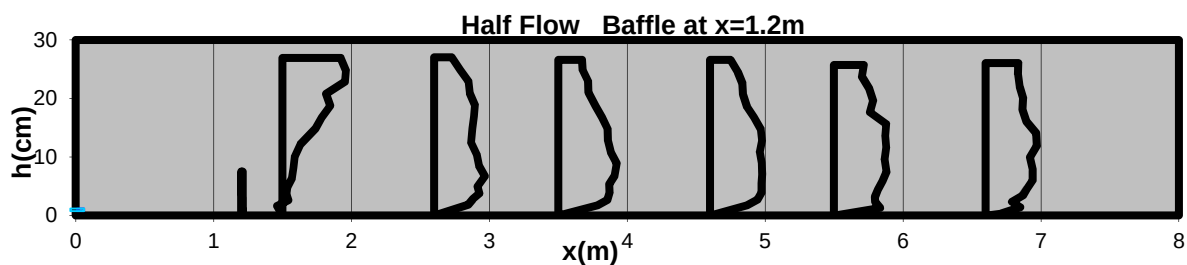
شکل ۵- پروفیل سرعت در حالت بدون بافل و دبی کامل



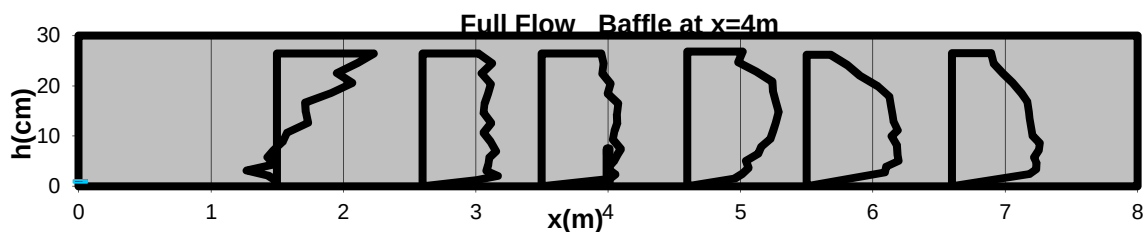
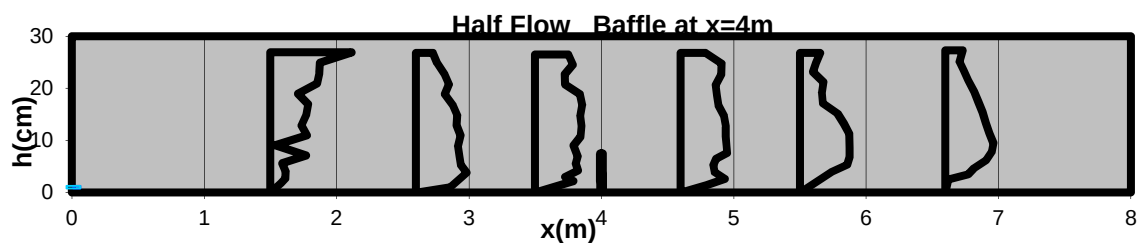
شکل ۶- بافل در فاصله ۴m و دبی کامل



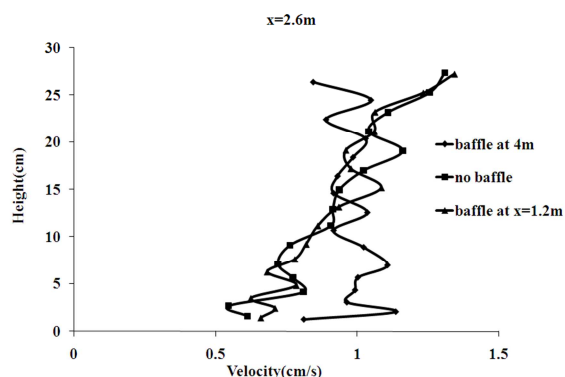
شکل ۷- پروفیل سرعت بصورت طرحواره در فواصل مختلف کانال در حالت بدون بaffle



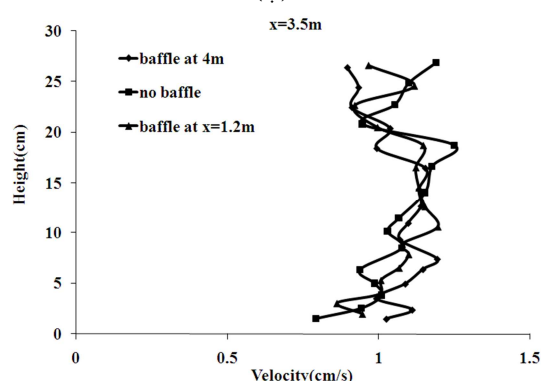
شکل ۸- پروفیل سرعت بصورت طرحواره در فواصل مختلف کانال با بaffle در فاصله $x=1/2m$



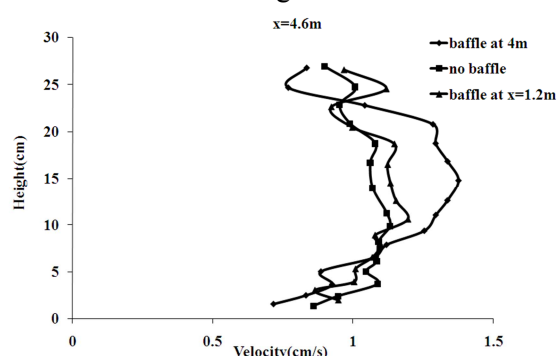
شکل ۹- پروفیل سرعت بصورت طرحواره در فواصل مختلف کانال با بaffle در فاصله $x=4m$



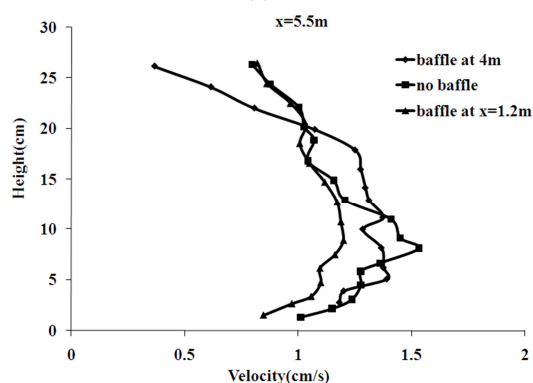
(ب)



(ج)



(د)

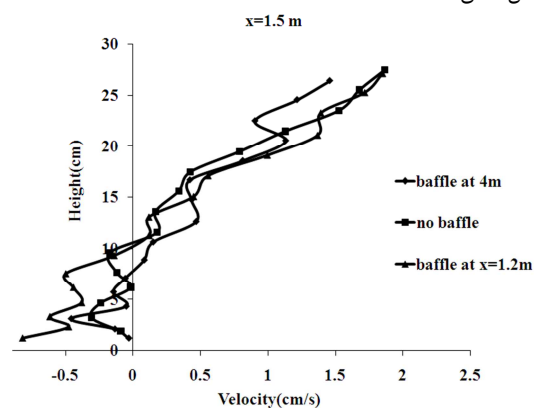


(ه)

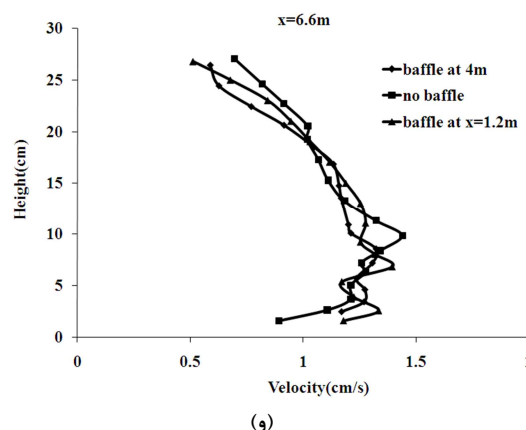
با مقایسه پروفیل‌های سرعت در حالت حوضچه‌های بافل‌دار و بدون بافل نتایج مشابه حالت قبل مشاهده می‌شود. علاوه بر این توزیع جریان در $x=3/5m$ در حالت بافل‌دار و درحالتی که بافل در $x=4m$ قرار دارد خصوصاً در حالت دبی نصف یکنواخت‌تر است. ماکزیمم سرعت در فواصل بعد از بافل افزایش یافته است که می‌تواند به دلیل کاهش سطح مقطع جریان ناشی از بافل باشد. همچنین جریان جت در کف در بعد از بافل تا حدی کاهش یافته است که این کاهش برای دبی نصف بیشتر است و شرایط را برای رسوبگذاری بیشتر فراهم می‌کند. این نتایج با آزمایشات دیگر محققان نیز تطابق دارد [۲۰]. ولی نکته جالب اینکه در $x=4/6m$ به ترتیب حالت بدون بافل، بافل $1/2m$ و بافل $4m$ دارای توزیع جریان یکنواخت‌تری هستند. در $x=5/5m$ به ترتیب بافل $1/2m$ ، بافل $4m$ و حالت بدون بافل توزیع جریان یکنواخت‌تری را دارا هستند. در $x=6/6m$ تمایزی خاصی بین سه حالت وجود ندارد. البته تحقیقات [۲۲] نشان می‌دهد که بهترین موقعیت بافل در فاصله $0/2$ تا $0/4$ طول کانال است که موید نتیجه اخیر این تحقیق است. همچنین در حالت دبی نصف نوسانات سرعت در سه حالت رژیم جریان بیشتر است. بطور کلی حضور بافل باعث پخش ممتد به سمت قسمت بالایی کانال می‌شود.

۳-۲-۲- در فواصل مختلف

در این بخش به بررسی توزیع سرعت نسبت به ارتفاع کانال در فواصل مختلف از ورودی کانال پرداخته می‌شود. شکل ۱۰ پروفیل سرعت را برای نقاط مختلف کانال در فواصل $1/5$ ، $2/6$ ، $3/5$ ، $4/6$ ، $5/5$ و $6/6$ متری از ورودی کانال برای حالت‌های بدون بافل، بافل در فاصله $1/2$ متری و بافل در فاصله 4 متری برای دبی کامل نشان داده است.



(الف)



(و)

شکل ۱۰- پروفیل سرعت در دبی کامل در فواصل الف) ۱/۵ متر، ب) ۲/۶ متر، ج) ۳/۵ متر، د) ۴/۶ متر، ه) ۵/۵ متر و و) ۶/۶ متر از ورودی

پروفیل سرعت جریان در دو حالت بدون بافل و دارای بافل همچنان نتایج قبلی را تأیید می‌کند؛ همچنین مشهود است که سرعت جریان در حالت بافل‌دار نسبت به حالت بدون بافل به خصوص در نیمه دوم حوضچه یکنواخت‌تر است. همانطور که مشاهده می‌شود در نزدیکی بافل به علت کاهش سطح مقطع عبوری جریان، ماکزیمم سرعت بیشتر می‌شود (شکل ۱۰- د را ببینید). در حوضچه‌های رسوبگذار تشکیل نواحی چرخش در قسمت‌های مختلف از حجم مفید می‌کاهد و باعث ایجاد مسیر مستقیم و کوتاه (اتصال کوتاه) از ورودی به خروجی می‌شود. برای ذراتی که در این مسیر حرکت می‌کنند، زمان اقامت به مراتب کوچکتر از زمان اقامت ایده‌آل در حوضچه خواهد شد. بنابراین می‌توان با تغییر هندسه حوضچه به کمک بافل و ایجاد جریان یکنواخت از نواحی چرخش کاست و بر میزان بازده حوضچه افزود. به عنوان مثال، بافل میانی با متوقف کردن جریان جت کف و دور نگه داشتن آن از خروجی، همچنین تبدیل یک حوضچه به دو حوضچه که به صورت سری کار می‌کنند، بازده ته‌نشینی را افزایش می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با مقایسه پروفیل سرعت جریان در دو حالت با دبی کامل و دبی نصف می‌توان نتیجه گرفت که در حالت با دبی نصف اغتشاش جریان کمتر بوده و در نتیجه به جریان یکنواخت نزدیک‌تر است. همچنین در حالت دبی کامل احتمال ایجاد پدیده اتصال کوتاه به علت سرعت بیشتر لایه‌های بالایی حوضچه بیشتر است. با مقایسه پروفیل سرعت جریان در دو حالت با حوضچه بافل‌دار و بدون بافل می‌توان نتیجه گرفت که در حوضچه‌های بافل‌دار نوسانات جریان به‌طور فاحشی کمتر است و توزیع جریان یکنواخت‌تر است؛ این پدیده در نیمه دوم حوضچه خیلی شدیدتر و ملموس‌تر است. توزیع سرعت، به خصوص در نیمه دوم، در مقایسه با حالت بدون بافل، یکنواخت‌تر است، جت کف در قسمت دوم وجود ندارد، میزان اتصال کوتاه کاهش می‌یابد ولی کارایی بافل میانی در شرایط دبی بالا، کم خواهد شد.

نواحی چرخش مجدد باعث مسائل مختلفی می‌شود: این نواحی حجم موثر مخزن را کاهش داده و ممکن است باعث ایجاد پدیده اتصال کوتاه از ورودی به خروجی مخزن شوند؛ بدین معنی که جریان بدون فرایند ته‌نشینی از مخزن خارج شود. چرخش همچنین می‌تواند باعث ایجاد

اغتشاشات جریان در بعضی نواحی شود. این شرایط نه تنها ته‌نشینی ذرات معلق را با مشکل مواجه می‌کند بلکه باعث معلق شدن مجدد رسوبات می‌شود. یکی از روش‌های کاهش اندازه ناحیه مرده (نواحی چرخش مجدد) و کاهش انرژی جنبشی جریان، استفاده از یک بافل مناسب است که می‌تواند با ایجاد بستری آرام، موجبات ته‌نشینی ذرات رسوب در زمان کمتر و با سرعت ثابت را فراهم آورد. با توجه به اینکه هدف رسیدن به توزیع یکنواختی از جریان در ناحیه وسیعی از حوضچه است و اینکه باید بلند شدن ذرات ته‌نشین شده به کمترین مقدار ممکن برسد و از اتصال کوتاه اجتناب شود به نظر می‌رسد که استفاده از حوضچه‌های بافل‌دار و آن‌هم با دبی نصف مطلوب‌ترین حالت باشد.

۶-مراجع

- [1] 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 Modeling, Vol. 37, pp. 4486-4496, 2013.
- [2] Qasim R. S., and Motley M. E., Water Works Engineering: Planning, Design and Operation, 2nd Edition, Prentice Hall Co., 2000.
- [3] Sanks L.R., Water Treatment Plant and Design for the Practicing Engineering, Butter Worth Publishers, 1978.
- [4] Liu H.F., Liptak B.G., Waste water Treatment, Lewis Publisher, 1991.
- [5] Susumu K., "Integrated Design & Operation of Water Treatment Facilities, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [6] Monk R. and Willis J.F., Designing Water Treatment Facilities, Jour. AWWA, Vol. 79, No. 2, pp. 45-57, 1987.
- [7] Tamayol A., A new method for determination of primary sedimentation basins performance", IRAN 10th International and 14th Annual Conf. Mech. Engineering, Isfahan, Iran, 2006.
- [8] Ahmed F. H., Kamel, A., Abdeljavad, S., Experimental Determination of the optimal location and contraction of sedimentation tank baffles, Water, Air and Soil Pollution, Vol. 92, pp 251-271, 1996.
- [9] Younes M.F., Younes Y.K., El-Madah M.E., Ibrahim, I.M. and Eidannanh, E.H., An experimental investigation of hydrodynamic damping due to vertical baffle arrangements in a rectangular tank, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers—Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 221(3), pp. 115-123 (2007).
- [10] Taebi-Harandy A. and Schroeder E. D., Analysis of structural features on performance of secondary clarifiers, J. Environ. Eng., Vol. 121, No. 12, pp. 911-919, 1995.
- [11] Smethurst G., Basic Water Treatment for Application World Wide, 2nd Edition, 1992.
- [12] Krebs, P., "Success and shortcomings of clarifier modeling, J. Water Sci. Tech., 31(2), pp. 181-191 1995.
- [13] Tamayol A., Firoozabadi B. and Ashjari M.A., Hydrodynamics of secondary settling tanks and increasing their performance using baffles, J. Environ. Eng.(ASCE), Vol. 136(1), pp. 32-39, 2010.
- [14] Asgharzadeh H., Firoozabadi B., Afshin H., Experimental investigation of effects of baffle configurations on the performance of a secondary sedimentation tank, Scientia Iranica B, Vol. 18 (4), pp.938-949, 2011.
- [15] 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, DOI: 10.1080 / 19443994. 2016. 1157521, 1-10, 2016.
- [16] Shahrokhi M., Rostami F., Md Said M. A., Sabbagh-Yazdi S. R., Syafalni S., Abdullah R., The effect of baffle angle on primary sedimentation tank efficiency, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 39, pp. 293-303, 2012.
- [17] Nortek A.S., ADV Operation Manual, November, 2000.
- [18] Asgharzadeh H., Firoozabadi B., Afshin H., Experimental Investigation of Effects of Baffle Configuration on the Performance of a Secondary Sedimentation Tank, Scientia Iranica B, Vol. 18, No. 4, pp. 938-949, 2011.

- [19] Jamshidnia H. & Firoozabadi B., Experimental Investigation of Baffle Effect on the Flow in a Rectangular Primary Sedimentation Tank, Transaction B: Mechanical Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 241-252, 2010.
- [20] Jamshidnia H., Firoozabadi B., Takeda Y., An Experimental Study of the Flow Structure in a Rectangular Sedimentation Open Channel in the Presence of a Baffle, Journal of Applied Mechanics, Vol. 13, pp. 899-907, 2010.
- [21] Razmi A. M., Bakhtyar R., Firoozabadi B., Barry D.A., Experimental and Numerical Modeling of Baffle Configuration Effects on the Performance of Sedimentation of Tanks, Canadian Journal of Civil Engineering, 2013.
- [22] Heydari M. M., Mehrzadegan R., Effect of Baffles on the Flow and Hydrodynamics of Settling Basins: A Review, Journal of Agricultural Research, Vol. 52, No. 1, pp. 137-151, 2014.