

Research Paper

مقاله پژوهشی

Numerical Study of Input of Primary Settling Tanks in Circular Wastewater Treatment Plants with Flow-3D

Ramtin Sobhkhiz Foumani¹, Alireza Mardookhpour^{2*} and Sadeh Hosseini³

1- PhD Student of Civil Engineering Department, University of Qom, Qom, Iran

2- Assistant Professor of Civil Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

3- M.Sc. of Civil Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

*Corresponding Author, Email: Alireza.mardookhpour@liau.ac.ir

Received: 29/10/2021

Revised: 16/04/2022

Accepted: 03/05/2022

© IWWA

Abstract

Water scarcity is one of the main challenges and constraints in the development of the country. On the other hand, wastewater treatment methods were initially developed as a response to concern about public health and the conditions caused by wastewater disposal in the environment, but now with the expansion of cities and urban life, keeping the environment clean and protecting it is essential for social life. Therefore, the aim of the research is to minimize the cost, optimize and simulate the primary sedimentation tanks in wastewater treatment plants using Flow3D software. In addition to evaluating the accuracy of the model in the simulation, parameters affecting the ratio of inlet through the overflow to the inlet under the valve were determined. The results showed that The Les model had better result in simulating the setting cavity in circular-shaped treatment plant tanks in comparison to the other turbulence models. Comparing the effect of settling characteristic parameters on the maximum settling depth, it was concluded that the drag coefficient and static angle parameters had a great effect on the it. According to several simulations performed with Flow3D software, it was found that this software has good accuracy in simulating the flow pattern passing through the circular overflow-valve treatment plant in both solid bed and mobile bed modes. Also, by comparing the effect of deposition characteristic parameters on the maximum deposition depth, it can be seen that the parameters of drag coefficient and static angle have a great effect on the amount of deposition. Also, among different turbulence models, LES model has more acceptable results in simulation. The settling of the refinery tanks indicates a circular Spillway-valve shape.

Keywords: FLOW-3D software, Numerical Simulation, Primary Tanks, Refinery, Settlement.

بررسی عددی ورودی مخازن ته‌نشست ابتدایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دایره‌ای شکل با Flow-3D

رامتین صبح‌خیز فومنی^۱، علیرضا مردوخ پور^{۲*} و صادق حسینی^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه عمران، دانشگاه قم، قم، ایران.

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران.

۳- کارشناس ارشد گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: Alireza.mardookhpour@liau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۷

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳

© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

کمبود آب یکی از چالش‌ها و محدودیت‌های اساسی در توسعه و آبادانی کشور محسوب می‌شود. از طرفی روش‌های تصفیه فاضلاب در ابتدا به‌عنوان پاسخی به نگرانی در مورد بهداشت عمومی و شرایط ناشی از دفع فاضلاب در محیط‌زیست به وجود آمدند، ولی اکنون با گسترش شهرها و زندگی شهری، پاک نگه‌داشتن و حفظ محیط‌زیست برای حیات اجتماعی امری ضروری است. لذا هدف تحقیق بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مخازن ته‌نشینی ابتدایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است که با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D شبیه‌سازی هیدرولیک جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه و ته‌نشست مخازن صورت گرفت و علاوه بر ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی، به تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر نسبت ورودی عبوری از روی سرریز به ورودی عبوری از زیر دریچه پرداخته شد. در مطالعه حاضر، روابطی برای نسبت دبی ورودی عبوری از بالا به پایین تصفیه‌خانه براساس پارامترهای بی‌بعد به‌دست آمد که بیانگر میزان همبستگی بالای متغیرهای فوق بوده است. هم‌چنین از مقایسه تأثیر پارامترهای مشخصه ته‌نشست در حداکثر عمق ته‌نشست نتیجه شد که پارامتر ضریب دراگ و زاویه ایستایی تأثیر زیادی بر مقدار ته‌نشست دارد. طبق شبیه‌سازی‌های متعددی که با نرم‌افزار Flow-3D انجام شد مشخص شد که این نرم‌افزار دقت خوبی در شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در دو حالت بستر صلب و بستر متحرک دارد. هم‌چنین از مقایسه تأثیر پارامترهای مشخصه ته‌نشست در حداکثر عمق ته‌نشست می‌توان دریافت که پارامترهای ضریب دراگ و زاویه ایستایی تأثیر زیادی بر مقدار ته‌نشست دارند. از بین مدل‌های آشفتگی مختلف، مدل LES نتایج قابل‌قبول‌تری در شبیه‌سازی ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی عددی، مخازن ابتدایی، نشست، تصفیه‌خانه، نرم‌افزار Flow-3D

در نهایت انتشار و انتقال غلظت به‌طور هم‌زمان با هیدرولیک جریان بررسی و با پروفیل عمودی رسوب مقایسه شده است. Winter et al. (2016) زمان در مخازن ته‌نشینی اولیه تصفیه‌خانه بزرگ فاضلاب شهری را اندازه‌گیری کردند. در این مقاله تأثیر رفتار الگوی جریان در مخزن ته‌نشینی و ترسیب مواد جامد و معلق در تصفیه‌خانه فوق با هدف اندازه‌گیری الگوی جریان در مخزن و مواد جامد معلق، به‌طور جداگانه بررسی و الگوهای زیادی استخراج شده است. Zanganeh et al. (2016) در مدلی آزمایشگاهی نشان دادند که افزایش راندمان مخازن ته‌نشینی اولیه با استفاده از صفحات لایه نازک باعث ته‌نشینی بیشتر مواد جامد معلق می‌شود. Su et al. (2019) یک مطالعه عددی در مورد تغییرات نرخ جریان ورودی در یک مخزن ته‌نشینی ثانویه انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش نرخ جریان ورودی، لجن به‌طور مداوم در سمت چپ پایین مخزن، قیف لجن و ورودی تجمع می‌یابد. هم‌چنین ضخامت پوشش لجن در نزدیکی انتهای سمت راست مخزن به‌طور مداوم افزایش می‌یابد و غلظت لجن در مخزن تقریباً به‌صورت خطی با زمان افزایش می‌یابد. بنابراین انتظار می‌رود که برای مدل‌سازی فرآیندهای رسوب‌گذاری لجن قابل اجرا باشد.

Griporio et al. (2021) در پژوهشی از مدل دینامیک سیالات محاسباتی سه بعدی برای پیکربندی جدید مخزن ته‌نشینی اولیه دایره‌ای استفاده کردند. نتایج نشان داد که نصب حفاظ دوم توزیع جریان یکنواخت‌تری را در PST فراهم می‌کند و در نتیجه، مشکلات هیدرودینامیکی مرتبط با اتصال کوتاه ورودی به پایین مخزن کاهش می‌یابد. بافل دوم جریان رو به پایین را سرکوب می‌کند، به‌طور موثر انرژی جنبشی در ورودی را از بین می‌برد و ذرات را مجبور می‌کند به سمت پایین PST حرکت کنند. علاوه بر این، بافل دوم اجازه می‌دهد تا در ناحیه ورودی یک لایه پوششی لجن متمرکزتر و لجن ضخیم‌تر تشکیل شود و خطر خروج مواد جامد در پساب PST را کاهش دهد. Patziger (2021) در پژوهشی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب را با استفاده از مدل‌های CFD برای طراحی و بهره‌برداری بهبود داد. نتایج نشان داد که میزان ورودی هوا را می‌توان به‌شدت در بیشتر محفظه‌های شن کاهش داد. هم‌چنین بهینه‌سازی طراحی هندسه ورودی مخازن ته‌نشینی اولیه، به‌ویژه در بارهای زیاد ناشی از حوادث طوفان بسیار مهم است. طراحی عملکرد میکسر براساس دستورالعمل‌های طراحی فعلی، اغلب دارای ظرفیت غیرضروری بالا است.

امروزه استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی با

کمبود آب یکی از چالش‌ها و محدودیت‌های اساسی در توسعه و آبادانی کشور در سطوح ملی، منطقه‌ای و عرصه‌های حیات اجتماعی و فعالیت‌های اقتصادی محسوب می‌شود. علاوه بر کمبود منابع آب که خود معضل اساسی جوامع در عصر حاضر است، اگر آب‌های قابل استحصال نیز آلوده باشند، مشکلات مربوط به آب به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین عوامل حیات انسان دوچندان می‌شود. روش‌های تصفیه فاضلاب در ابتدا به‌منزله پاسخی به نگرانی در مورد بهداشت عمومی و شرایط ناشی از دفع فاضلاب در محیط‌زیست به‌وجود آمدند، ولی در حال حاضر با گسترش شهرها و روی آوردن مردم به شهرنشینی و زندگی شهری، پاک نگه‌داشتن و حفظ محیط‌زیست برای حیات اجتماعی امری ضروری است. بر همین اساس با توجه به خطر پایان یافتن منابع آب شیرین و کاهش تراز سفره‌های آب زیرزمینی، نیاز به تصفیه و بازیافت آب مصرفی نیز در تمام فعالیت‌های روزمره انسانی احساس می‌شود (منزوی، ۱۳۸۴). Dobbins (1994) مکانیزم رسوب‌گذاری را به‌صورت تحلیلی و یک‌بعدی با در نظر گرفتن آشفته‌گی جریان بررسی نمود. نتایج مطالعات وی حاکی آن است که رسوب‌گذاری ذرات معلق مستقل از عمق حوضچه است. هم‌چنین بازگشت ذرات ته‌نشین شده در حین خارج‌نمودن رسوب کاملاً به شرایط هیدرولیکی در کف بستگی دارد. Aslam et al. (2011) مطالعه‌ای در خصوص جداسازی مواد جامد معلق و پساب مخازن ته‌نشینی اولیه انجام دادند. ضخامت ایجاد شده ناشی از ته‌نشین شدن رسوبات در مخزن در حالی بررسی شده است که ذرات سنگین‌تر به‌وسیله نیروی گرانش در پایین مخزن قرار گرفته و ذرات سبک‌تر مانند چربی، روغن و گریس در قسمت بالای مخزن مستقر شده و به‌عنوان بخش مایع از قسمت خروجی، تخلیه شده‌اند. شناخت عواملی که باعث ضخیم شدن جداره‌های مخازن ته‌نشینی (خصوصاً در کف) نیز می‌شود، از نتایج این تحقیق است. Borna et al. (2014) با استفاده از روش حجم محدود و مقایسه آن با نتایج تجربی، نشان دادند که شبیه‌سازی‌های عددی از توزیع و انتقال رسوب در مخازن ته‌نشینی، قبل از ته‌نشینی به چه ترتیبی خواهد بود. در این تحقیق با شبیه‌سازی عددی جریان در مخزن مستطیلی و حل معادلات ناویر-استوکس با استفاده از روش حجم محدود، اقدام به شبیه‌سازی جریان در سه بعد شده و با استفاده از مدل پیشنهاد شده، مقایسه پروفیل سرعت در بخش‌های مختلف مخزن و ارزیابی رسوب سبک در مخزن قبل از ته‌نشینی انجام شده است.

که از روی تصفیه‌خانه موجود فاضلاب در تهران برداشته شده است. در مقاله پایه ورودی‌های مختلف جریان به حوضچه ترسیب تحلیل و با مقایسه راندمان ورودی‌های مختلف، ورودی مشخصی به‌عنوان پیشنهاد ارائه شده است. در پژوهش حاضر از همان ورودی و حوضچه ترسیب استفاده و با اضافه نمودن پارامتر رسوب به‌عنوان پارامتر جدید، هیدرولیک و مشخصات جریان و رسوبگذاری در حوضچه مذکور مشخص شده است. مدل مورد مطالعه حوضچه دایره‌ای شکل با قطر ۱۳/۷ متر و ارتفاع ۴/۴ متر است. به‌منظور مشاهده شیوه پخش رسوبات در طول فرآیند ته‌نشینی، آب موجود در مخزن در شروع فرآیند بدون رسوب (زالال) است و سپس با ورود فاضلاب حاوی رسوب، می‌توان شیوه انتشار مواد معلق و سپس ته‌نشینی رسوبات را به‌صورت کامل مشاهده نمود. در صورتی که بار سطحی ۶۰ مترمکعب بر مترمربع در روز در نظر گرفته شود (طراحی متوسط)، برای ارتفاع ۴/۵ متر، زمان ماند مورد نیاز بر اساس نشریه شماره ۴۵۰ وزارت نیرو، حدود ۱/۸ ساعت معادل ۶۴۸۰ ثانیه است که در مدل‌سازی ۶۵۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. همچنین دبی ورودی براساس بار سطحی و مساحت حوضچه حدود ۰/۶ مترمکعب بر ثانیه است. براساس نشریه ۴۰۵، شار جرمی مواد جامد بر اساس بده متوسط، ۴۸ کیلوگرم بر مترمربع در روز است که بدین ترتیب جرم کل مواد معلق ورودی به حوض ترسیب ثانویه ۳۷۴۴۰ کیلوگرم در روز و معادل ۴۳۳ میلی گرم در مترمکعب در ثانیه است.

۳- نتایج

در این بخش، نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و ته‌نشست در مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه با داده‌های آزمایشگاهی (Shahrokhi et al. (2012) مقایسه شده و توانایی نرم‌افزار Flow3D در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و ته‌نشست در مخازن تصفیه‌خانه ارزیابی می‌شود. سپس، نتایج واسنجی ارائه شده و نرم‌افزار برای شرایط هندسی و هیدرولیکی دیگر مورد ارزیابی و آزمون قرار گرفته است.

۳-۱- نحوه شبیه‌سازی در نرم‌افزار Flow-3D

برای انجام شبیه‌سازی‌های مربوط به یک پروژه در نرم‌افزار FLOW-3D ابتدا بهتر است برای پروژه مورد نظر یک فضای کاری ایجاد و شبیه‌سازی‌های مربوط به آن در فضای کاری ایجاد شده ذخیره شود. زمان مدل‌سازی را ۶۵۰۰ ثانیه معرفی کرده که

استفاده از نرم‌افزارهای مختلف با توجه به قابلیت‌های آن‌ها، به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های روش‌های سنتی و ریاضی مورد توجه قرار گرفته است. فلسفه پیدایش این روش‌ها را می‌توان در این حقیقت دانست که در مسائل بهینه‌سازی مهندسی تصمیم‌گیری با رسیدن به یک جواب مناسب و نه لزوماً بهینه مطلق صورت می‌پذیرد. هدف از تحقیق حاضر، حداقل‌سازی هزینه و بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مخازن ته‌نشینی ابتدایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معادلات حاکم بر جریان

یک روش ساده به‌منظور استفاده این است که فاز مایع مستقل از فاز جامد باشد. فاز جامد بر روی الگوی جریان به‌جز آشفتگی ناشی از اختلاط و چگالی اثر نمی‌گذارد. در مطالعه حاضر از معادله ناویر-استوکس به‌صورت رابطه (۱) استفاده شده است (Anderson, 1945):

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{u_j(\partial u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho f} \left(\frac{\partial p}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[v \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (1)$$

که v : بیانگر ویسکوزیته سینماتیک، u : سرعت جریان، p : فشار کل، ρf : چگالی سیال و t : زمان است.

در این تحقیق، از متغیر دما صرف‌نظر شده و تنها دو متغیر ناشناخته سرعت و فشار مورد بررسی قرار گرفته‌اند. قبل از هر مدل‌سازی باید مشخص شود که سیستم دارای شرایط مرزی و عملیاتی جدا بوده و بدیهی است که برای تکمیل مدل‌سازی عددی، شرایط مرزی برای تمام متغیرهای وابسته ناشناخته موردنیاز خواهد بود. پارامترهای وابسته ناشناخته، مولفه‌های سرعت، فشار، انرژی جنبشی مرتبط با حرکات آشفتگی جریان، نرخ پراکندگی انرژی آشفتگی جریان و غلظت ذرات جامد هستند. در مجموع، تمام سطوح مرزهای آزاد و جامد به‌عنوان مرزهای بدون لغزش رفتار خواهند نمود. این بدان معنی است که سطوح دارای تنش مماسی صفر خواهد بود و این شرایط با تنظیم کردن عدد صفر بر تمام مشتقات سرعت که با استفاده از یک مولفه سرعت یا بیشتر محاسبه شده‌اند، تعریف خواهد شد.

۲-۲- مدل مورد مطالعه

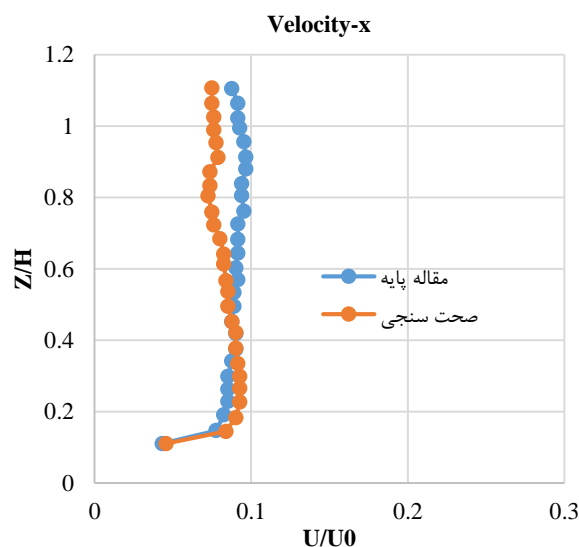
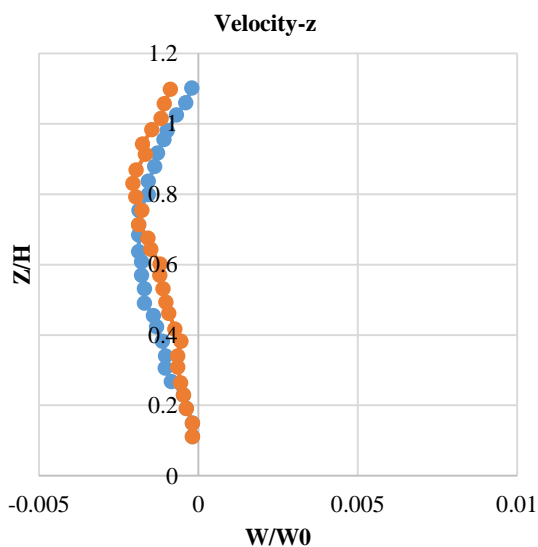
مدل مورد مطالعه برگرفته از (Shahrokhi et al. (2012) است

۵ سانتیمتری و مخزن با مش‌بندی ۱۰ سانتیمتری مشخص شده-اند. در خصوص تنظیمات ورودی جریان (دبی، رقم، مواد معلق) باید اضافه کرد که میزان وزن هر کدام از دانه‌های رسوبی براساس نسبت وزنی مندرج در نشریه ۲۷۸ برای هر قطر از میزان کل مواد معلق به‌دست آمده برای هر مترمکعب (۴۳۳ میلی‌گرم در مترمکعب برثانیه) محاسبه می‌شود. در واقع ۵ نوع ذره رسوبی ایجاد شده است که قطر این ذرات و نسبت وزنی آن‌ها از کل جامدات معلق براساس نشریه ۲۷۸ وزارت نیرو انتخاب شده است. هم‌چنین فرض شده است که ذرات با قطر بیش از ۳ میلی‌متر در واحدهای دانه‌گیری و ته‌نشینی اولیه حذف شده‌اند.

۳-۲- صحت‌سنجی

صحت‌سنجی براساس مدل منتخب Shahrokhi et al. (2012) (بدون اثر رسوب) و دبی ۶۵۰ لیتر بر ثانیه صورت‌گرفته و نتایج آن در قالب مقایسه توزیع سرعت طولی بی‌بعد در فاصله ۲۵ متری از ورودی ارایه شده است (شکل ۱). مطابق این شکل، حداکثر خطای محاسباتی کمتر از سه درصد است و بر این اساس، نحوه مدل‌سازی در پژوهش حاضر قابل‌اعتماد است.

بر اساس زمان ماند مورد نیاز نشریه ۴۰۵ انتخاب شده است. در خصوص مشخصات فیزیکی مدل، در گام اول اثر جذب هوا در اثر جریان آشفته لحاظ شد، به‌طوری‌که پارامتر ضریب میزان جذب و ضریب تنش سطحی را بدون تغییر گذاشته زیرا در اکثر موارد تجربی اعداد ۰/۵ و ۰/۰۷۳ صادق و قابل اعتماد است. شاهرخی و همکاران (۲۰۱۱) سپس در قسمت فعال‌سازی وابستگی فشار، ثابت گازی هوا ۲۸۶/۹ ژول بر کیلوگرم کلون دمای مرجع ۱۵ درجه سانتی‌گراد تعریف شده است. در گام دوم تخمین دانسیته براساس پارامترهایی مانند دما، غلظت و ... مورد نظر قرار گرفته است. در گام سوم اثر شتاب گرانش تعریف می‌شود که در سیستم SI، معادل ۹/۸۱ متر بر مجذورثانیه است. در گام چهارم برای مشخص کردن جریان ویسکوز و هم‌چنین روش حل عددی مدل آشفتگی جریان استفاده شد. در مدل‌سازی به‌منظور صحت‌سنجی از روش $k-\epsilon$ استفاده شده است. این مدل آشفتگی در مدل‌سازی جریان‌های حاوی رسوب عملکرد بهتری دارد. Shahrokhi et al. (2012) برای ایجاد هندسه پیچیده ورودی از نرم‌افزار AutoCAD استفاده کردند. سپس محدوده شبکه حل جریان مشخص شد، به‌طوری‌که برای حل مسئله، دو شبکه مش‌بندی مجزا در نظر گرفته شده است. محل ورودی با مش‌بندی



شکل ۱- مقایسه توزیع سرعت طولی و قائم محاسباتی در فاصله ۲۵ متری از ورودی با نتایج مطالعه Shahrokhi et al. (2012)

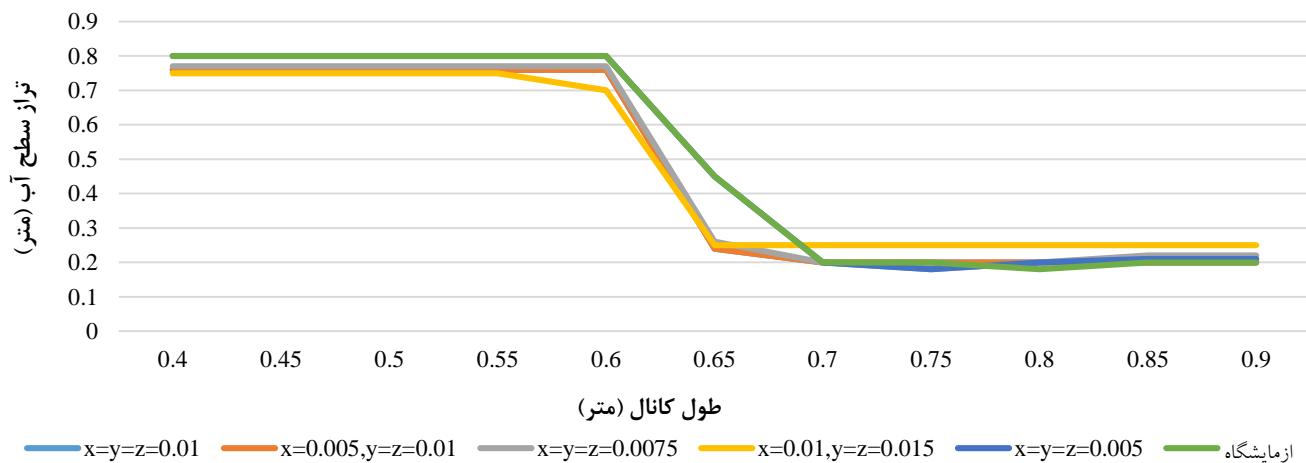
هرچه شبکه‌بندی میدان حل یکنواخت‌تر باشد، نتایج شبیه‌سازی عددی پروفیل سطح فاضلاب به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر است (شکل ۲). هم‌چنین هرچه اندازه سلول‌های شبکه‌بندی میدان حل ریزتر در نظر گرفته شده، تطابق قابل‌قبول‌تری بین نتایج محاسباتی و مشاهداتی حاصل شده است. در ادامه، شبکه

۳-۳- واسنجی مدل

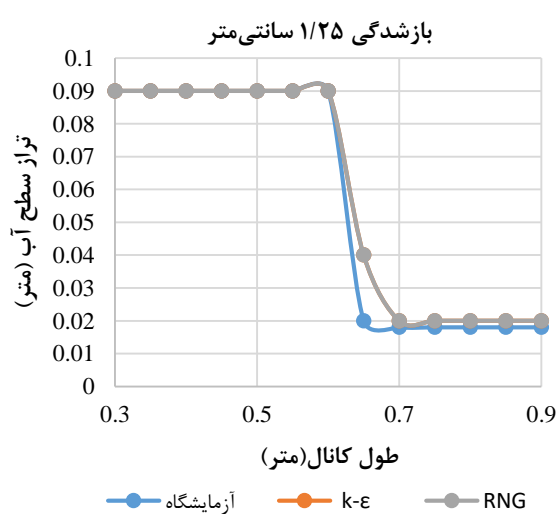
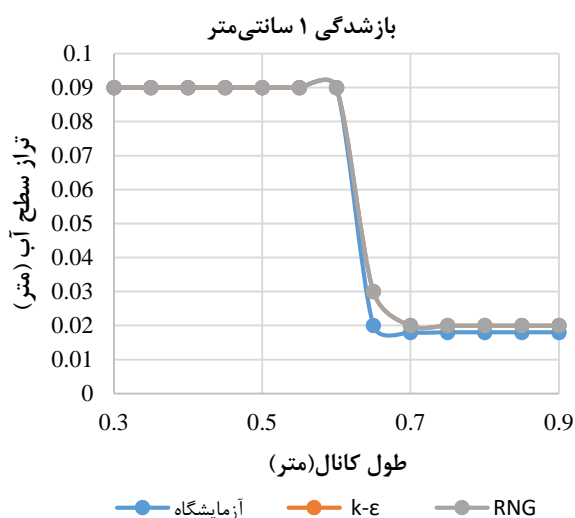
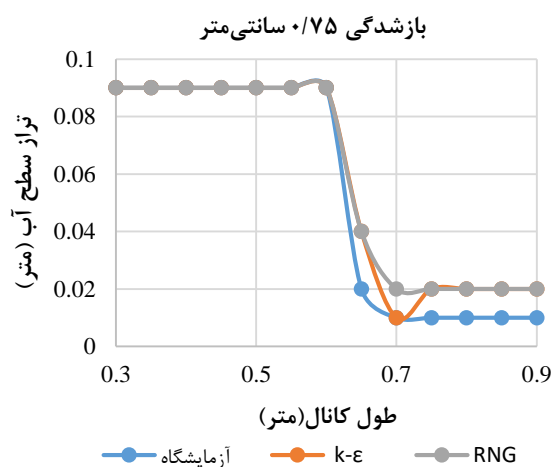
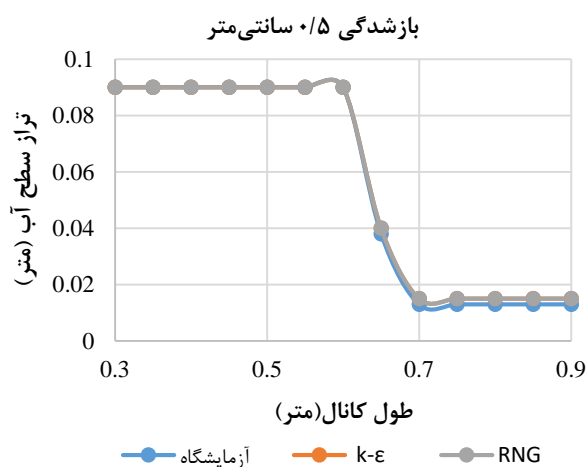
در این بخش، واسنجی مدل با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی Shahrokhi et al. (2012) انجام و برای این منظور، از شبکه‌بندی‌های مختلف و مدل‌های مختلف آشفتگی استفاده شده است. طی شبیه‌سازی‌های انجام شده، مشاهده شده است که

است. به‌منظور انتخاب بهترین مدل آشفتگی، نتایج پروفیل سطح فاضلاب حاصل از دو مدل آشفتگی RNG k-ε و k-ε مقایسه شده است.

مش یکنواخت با تعداد کل مش ۱۶۲۰۰۰ به‌منظور مدل‌سازی هیدرولیک جریان انتخاب شده است (ابعاد هر سلول محاسباتی ۵×۵×۵ میلی‌متر مکعب در نظر گرفته شده است). زمان اجرا برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان، بین ۱۵-۳۰ ثانیه انتخاب شده



شکل ۲- مقایسه پروفیل‌های سطح آب محاسباتی و مشاهداتی (بازشدگی ۰/۷۵ سانتیمتر و دبی ورودی ۲/۲۳ لیتر بر ثانیه)



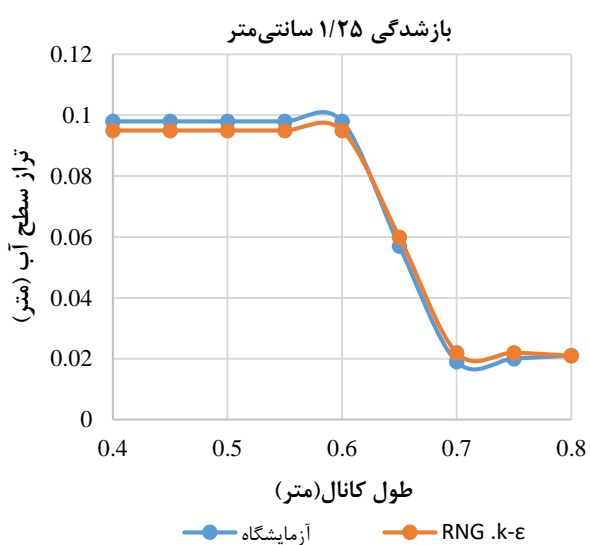
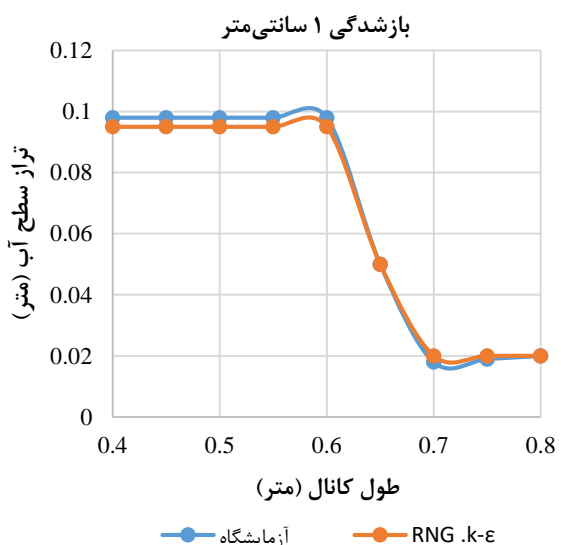
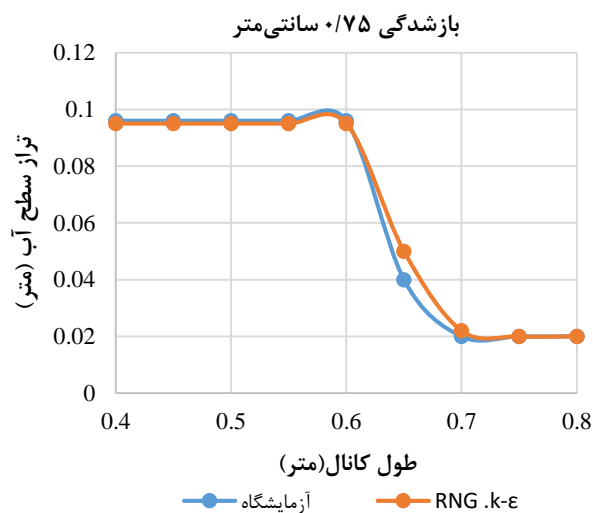
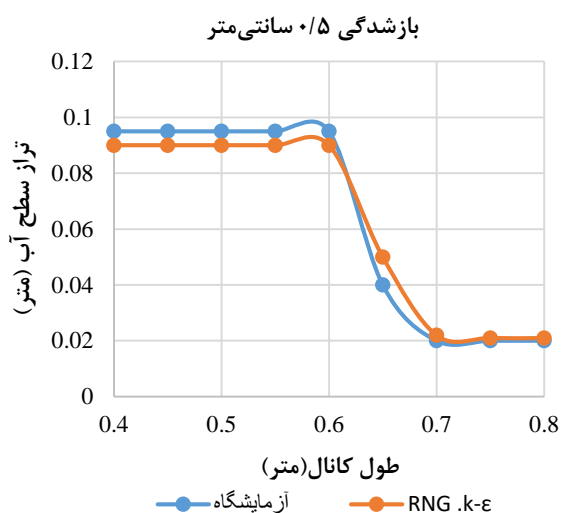
شکل ۳- مقایسه پروفیل سطح فاضلاب (دبی ورودی ۲/۲۳ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵ و ۰/۵ سانتی‌متر)

از مدل $k-\epsilon$ RNG استفاده شده است.

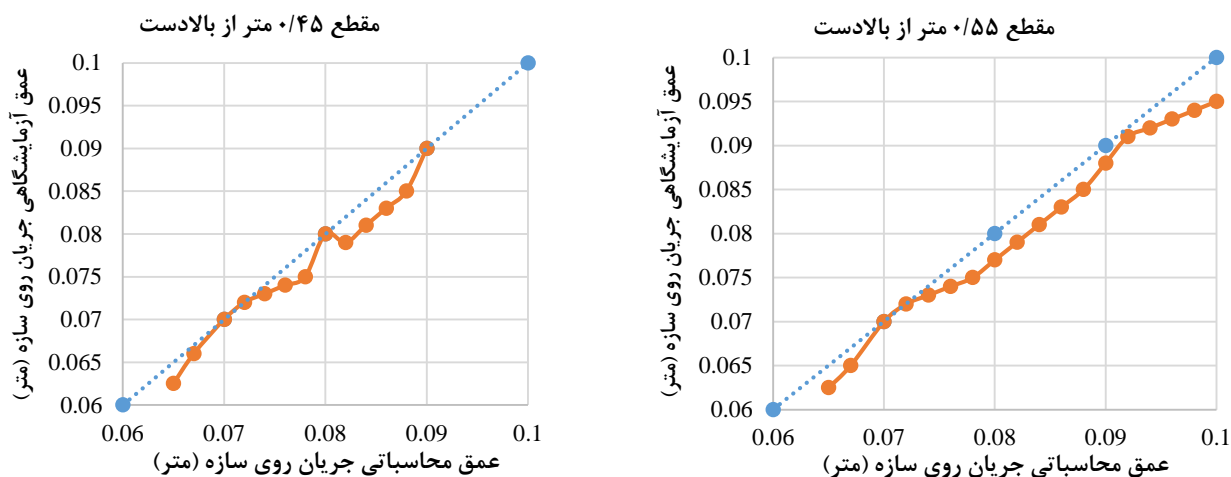
۳-۴- ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی نتایج، مدل‌سازی‌هایی با بازشدگی‌های ۱/۲۵، ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵ سانتی‌متر برای ورودی ۲/۶۴ لیتر بر ثانیه انجام و سپس نتایج پروفیل سطح فاضلاب حاصل از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG و داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج در شکل ۴ ارائه شده است. هم‌چنین برای ارزیابی دقت مدل $k-\epsilon$ RNG در تمامی مدل‌سازی‌های انجام شده، عمق جریان در دو مقطع بالادست و روی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل با داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۵ مقایسه شده است.

نتایج به دست آمده از منحنی‌های ارائه شده در شکل ۳ نشان می‌دهد که مدل‌های آشفتگی $k-\epsilon$ در نمایش پروفیل سطح فاضلاب نتایج تقریباً مشابهی دارند و تفاوت ناچیزی بین آن‌ها وجود دارد. لیکن مدل‌های بر پایه $k-\epsilon$ RNG، کمتر بر ارقام ثابت تجربی تکیه می‌کنند. هم‌چنین مدل $k-\epsilon$ RNG از معادله‌هایی استفاده می‌کند که شبیه معادله‌های مدل آشفتگی $k-\epsilon$ است. اما مقادیر ثابت معادله که به صورت عملی در مدل استاندارد $k-\epsilon$ یافت شده‌اند، صریحاً از مدل $k-\epsilon$ RNG گرفته شده‌اند. از این رو مدل $k-\epsilon$ RNG قابلیت اجرایی گسترده‌تری نسبت به مدل استاندارد $k-\epsilon$ دارد. به‌ویژه مدل $k-\epsilon$ RNG برای توصیف دقیق‌تر آشفتگی جریان و جریان‌هایی با مناطق دارای برش، قوی‌تر شناخته شده است. بنابراین برای مدل‌سازی هیدرولیک جریان در این تحقیق



شکل ۴- مقایسه پروفیل سطح فاضلاب شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده



شکل ۵- مقایسه عمق‌های محاسباتی و مشاهداتی جریان روی سازه در دو مقطع مختلف از بالادست (۰/۴۵ و ۰/۵۵ متر)

اما روند صعودی مربوط به عدد فرود ناچیز است. مقادیر آمارهای خطا با به‌کارگیری این رابطه به‌صورت جدول ۱ است. برای آزمون رابطه (۲)، نسبت دبی ورودی‌های عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در معادله و مقادیر به‌دست‌آمده از نرم‌افزار در شکل ۷ مقایسه شده است.

شکل ۸ مقایسه رابطه نسبت دبی ورودی در تصفیه‌خانه دایره‌ای ای شکل را نشان می‌دهد. براساس این شکل پراکندگی اعداد در نسبت پایین دبی‌های محاسباتی حاصل از نرم‌افزار و روابط تجربی (Anderson, 1945) کمتر است و با افزایش نسبت‌ها، میزان پراکندگی افزایش یافته است.

در شکل‌های ۹ و ۱۰، نمونه‌ای از توزیع مؤلفه طولی سرعت جریان و توزیع فشار محاسبه شده در اطراف تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز - دریچه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود توزیع فشار قبل و بعد از تصفیه‌خانه به‌صورت هیدرواستاتیک بوده، این درحالی است که بر روی تاج سرریز و زیر دریچه به‌دلیل تأثیر انحنا جریان توزیع آن غیرهیدرواستاتیک است.

در شکل ۱۱ الگوی جریان و در شکل ۱۲ توزیع تنش برشی محاسبه شده توسط نرم‌افزار Flow-3D نشان داده شده است. بر این اساس، ناحیه ته‌نشست‌گذار به‌ترتیب در محل‌هایی که بیشترین و کمترین تنش برشی را دارد اتفاق می‌افتد.

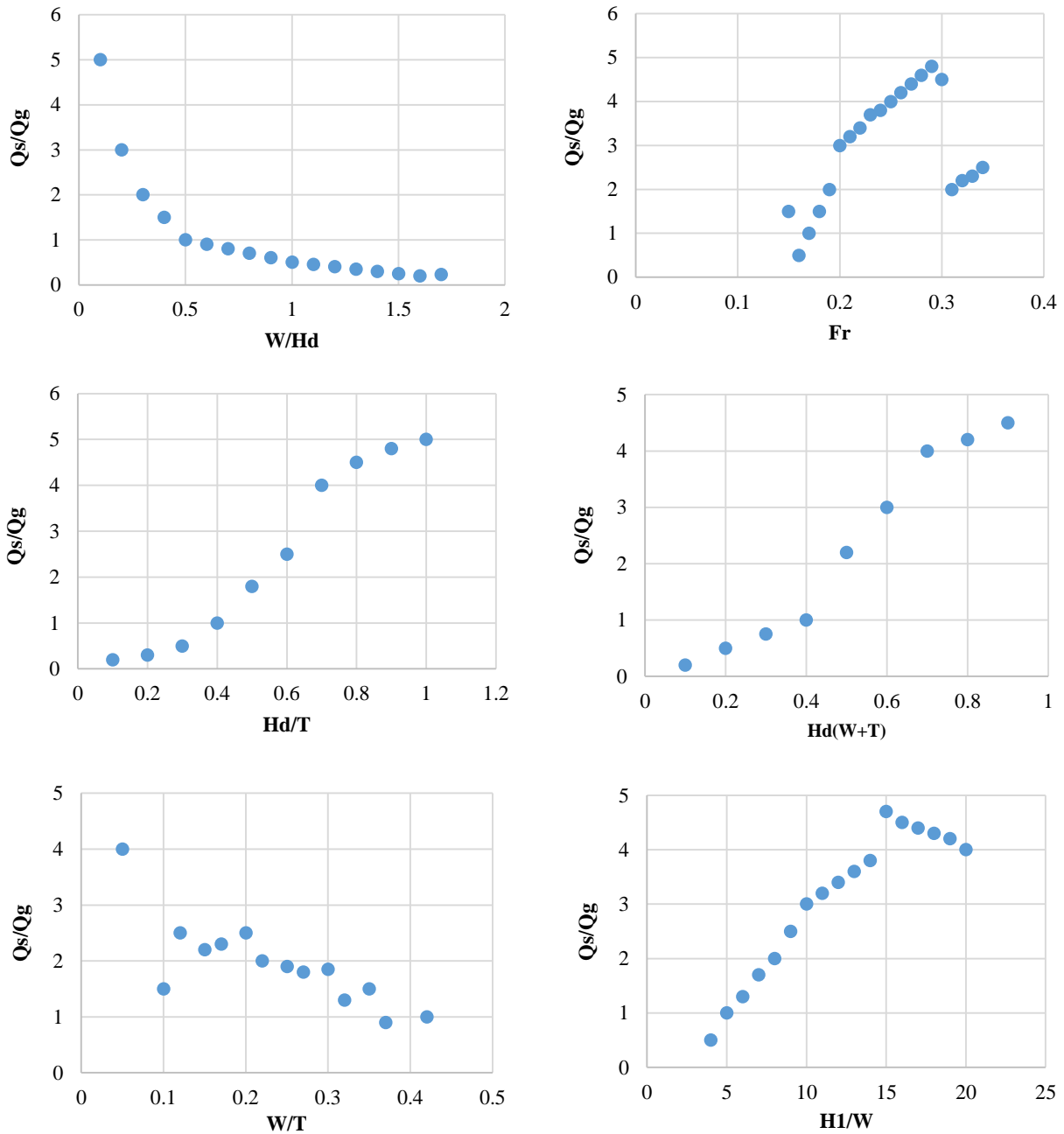
منحنی‌های شکل ۵ در دو مقطع بالادست نشان‌دهنده آن است که نتایج حاصل از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی دارای انطباق خوبی بوده و مدل RNG k-ε مدلی مناسب برای شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه است. به‌منظور تعیین مقادیر دبی ورودی از بالا و پایین تصفیه‌خانه از پروفیل سرعت محاسبه شده در زیر دریچه و روی تاج تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل استفاده شده و مقادیر ورودی متناظر آن‌ها از انتگرال‌گیری پروفیل سرعت محاسبه شده است. به‌همین منظور، ابتدا براساس پارامترهای مؤثر در جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل که عبارتند از بازشدگی W، طول تصفیه‌خانه T، هد روی تصفیه‌خانه H_d و عمق بالادست تصفیه‌خانه H₁ و استفاده از پارامترهای بی‌بعد حاصل از آن، چگونگی رابطه پارامترهای بی‌بعد با نسبت ورودی‌های عبوری از روی سرریز به عبوری از زیر دریچه ($\frac{Q_s}{Q_g}$) با ارائه منحنی بررسی و برای تعیین نسبت دبی ورودی‌ها، رابطه (۲) ارائه شده است.

$$\frac{Q_s}{Q_g} = 0.3167 (Fr)^{-0.13589} \left(\frac{H_1}{W}\right)^{0.96783} \left(\frac{H_d}{T}\right)^{1.2917} \quad (2)$$

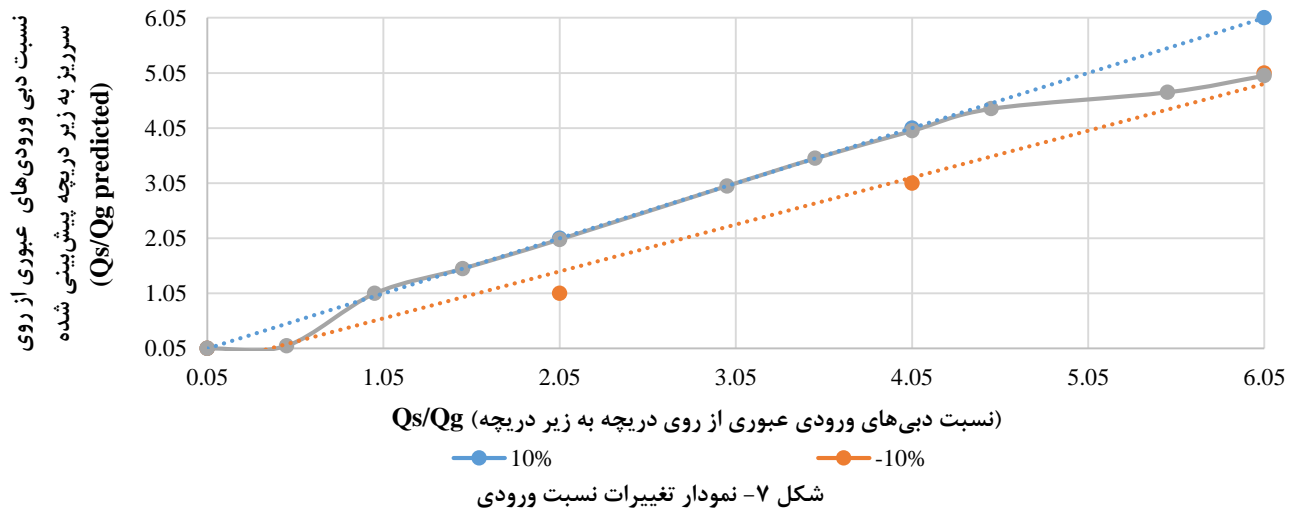
در شکل ۶، روند صعودی در منحنی‌های مربوط به رابطه نسبت $\frac{Q_s}{Q_g}$ با پارامترهای بی‌بعد $\frac{H_1}{W}$ و $\frac{H_d}{T}$ مشاهده می‌شود،

جدول ۱- نتایج آماری مربوط به خطا

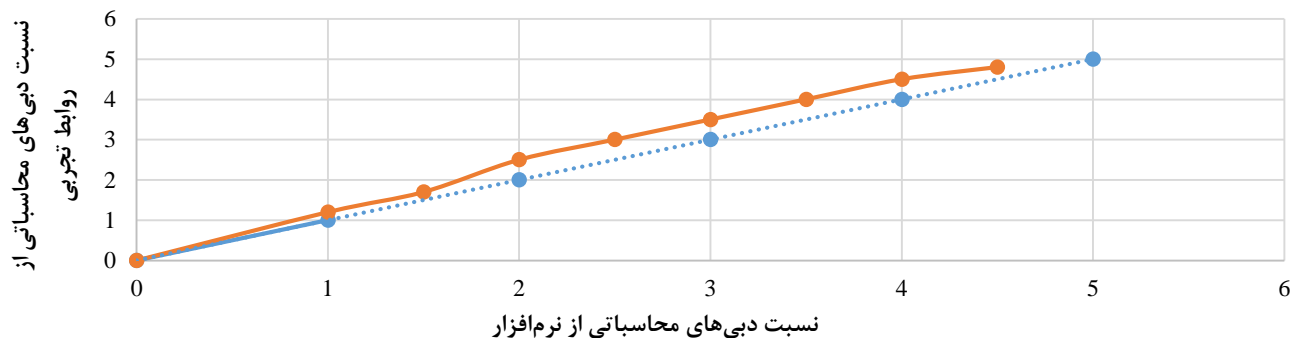
انحراف معیار نسبت‌ها	میانگین نسبت‌ها	نسبت همبستگی (R ²)	جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)
۰/۰۶۱۲۴	۱/۰۱۱۱	۰/۹۹۲۴۳۵	۰/۰۹۹۴



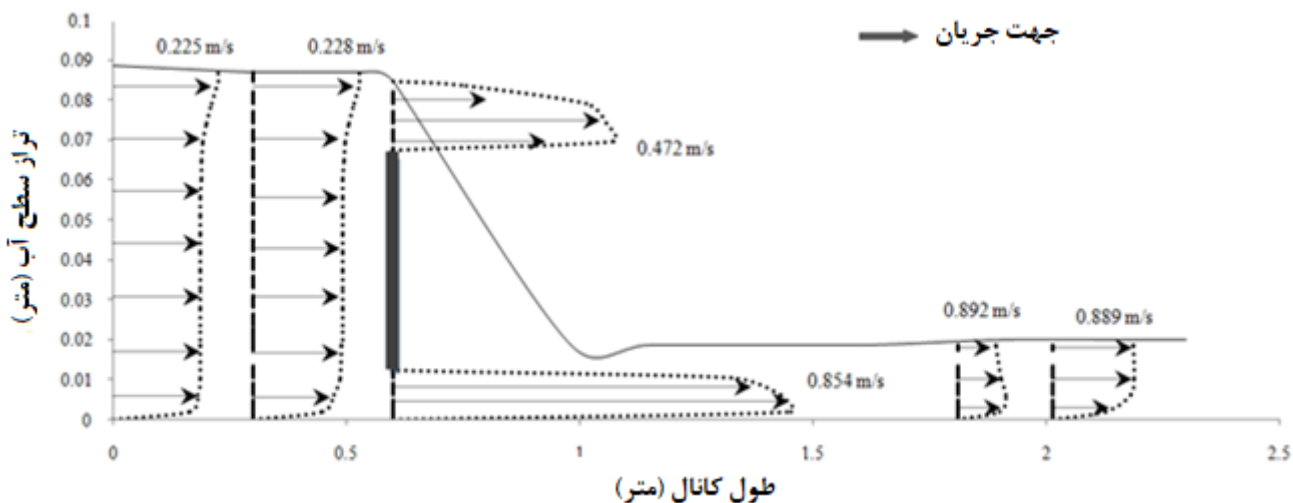
شکل ۶- نمایش چگونگی رابطه پارامترهای بی‌بعد



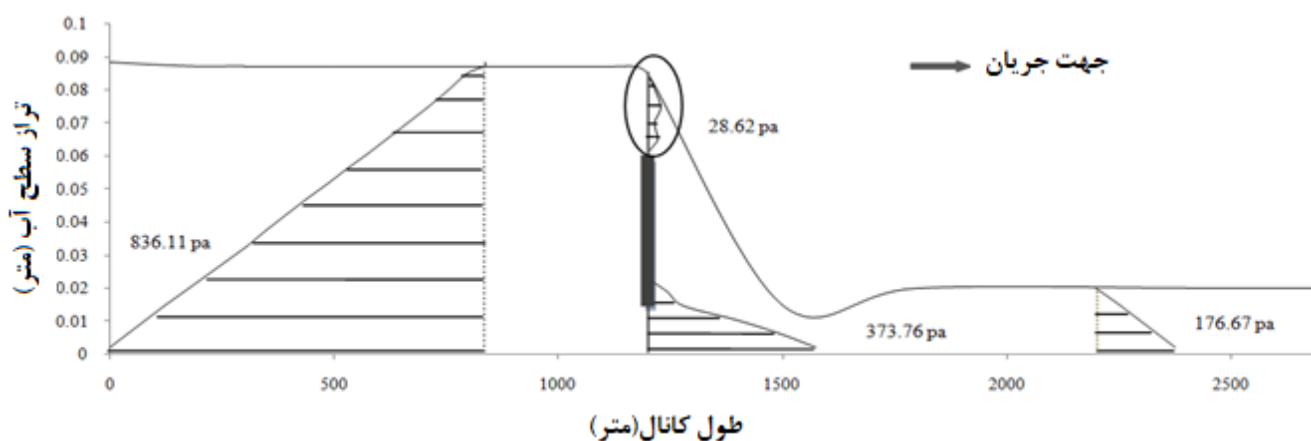
شکل ۷- نمودار تغییرات نسبت ورودی



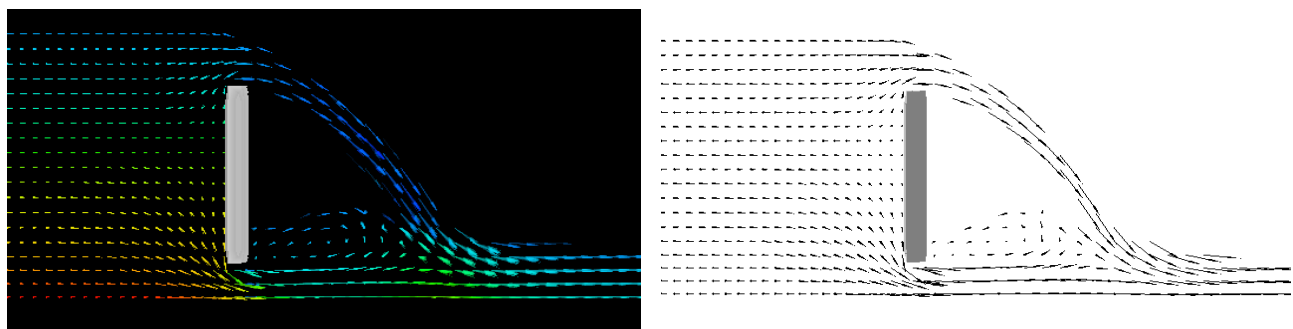
شکل ۸- مقایسه رابطه نسبت ورودی‌ها در تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل



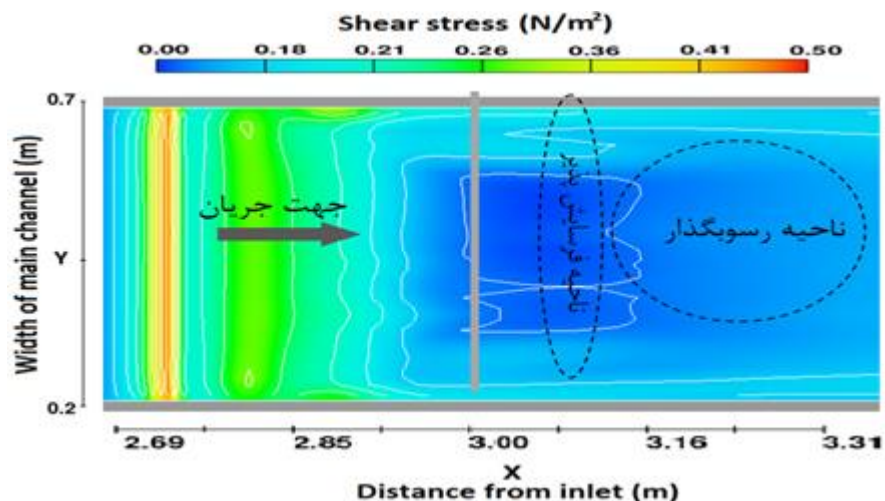
شکل ۹- توزیع مؤلفه طولی سرعت جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل



شکل ۱۰- توزیع فشار جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل در طول کانال



شکل ۱۱- الگوی جریان اطراف تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز- دریچه

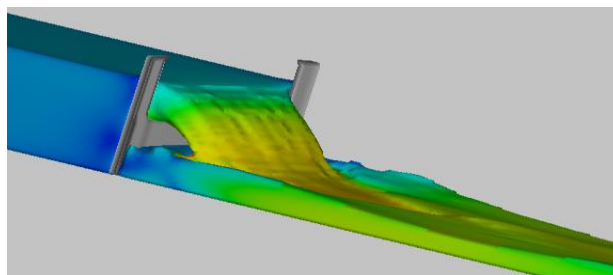


شکل ۱۲- توزیع تنش برشی کف در اطراف تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز- دریچه

انقباض جانبی به اندازه ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۵، ۶ و ۰/۵ سانتی‌متر صورت گرفت. لازم به ذکر است که مدل‌سازی‌ها برای بازشدگی، ورودی و طول تصفیه‌خانه یکسان و میزان انقباض متفاوت انجام شده است. شکل ۱۳ شماتیکی از جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل دارای انقباض جانبی را نشان می‌دهد.

۳-۵- بررسی تأثیر انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل

با استفاده از مدل واسنجی مربوط به هیدرولیک جریان، برای بررسی تأثیر میزان انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل بر روی نسبت ورودی فاضلاب شهر، مدل‌سازی‌هایی برای ۵ حالت



شکل ۱۳- شماتیکی از جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل دارای انقباض جانبی

عمق روی تصفیه‌خانه افزایش یافته و در نتیجه، نسبت ورودی‌های عبوری از روی سرریز به زیر دریچه ($\frac{Q_s}{Q_g}$) افزایش یافته است.

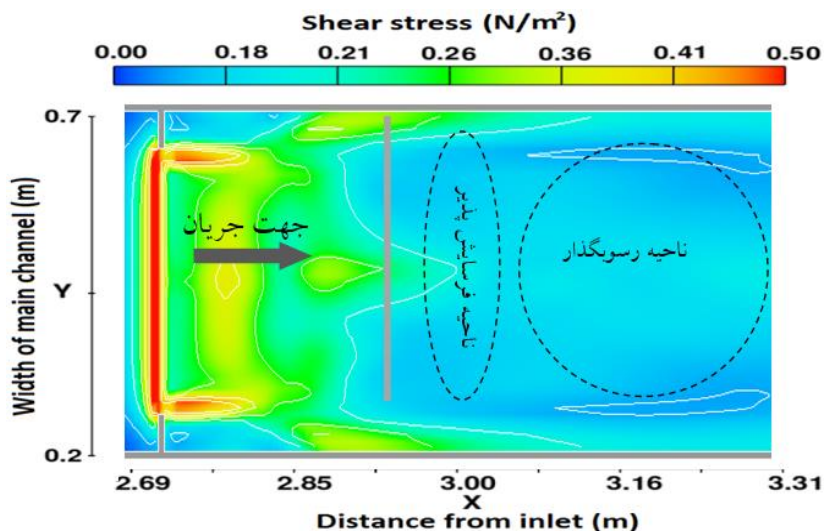
بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، با افزایش میزان انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل، عمق بالادست تصفیه‌خانه و

جدول ۲- نتایج حاصل از مدل‌سازی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل همراه با انقباض جانبی برای نسبت ورودی‌ها

نسبت Q_s/Q_g	عمق مخازن تصفیه‌خانه (متر)	عمق روی تصفیه‌خانه (متر)	عمق بالادست تصفیه‌خانه (متر)	میزان انقباض (متر)
۲/۰۶۴	۰/۰۲۱۸	۰/۰۷۶۵	۰/۰۸۰۲	۰
۲/۱۵۵	۰/۰۲۱۷	۰/۰۷۷۹	۰/۰۸۲	۰/۰۰۵
۲/۴۵۳	۰/۰۲۱۶	۰/۰۸۰۴	۰/۰۸۵	۰/۰۱
۲/۶۳۸	۰/۰۲۱۴	۰/۰۸۳۵	۰/۰۸۸	۰/۰۱۵
۲/۸۶۸	۰/۰۲۱۹	۰/۰۸۷	۰/۰۹۲۱	۰/۰۲
۲/۹۸۹	۰/۰۲۲۲	۰/۰۹۰۱	۰/۰۹۵	۰/۰۲۵

حالت بدون انقباض متفاوت بوده به طوری که باعث تغییر در شکل حفره ته‌نشست شده است.

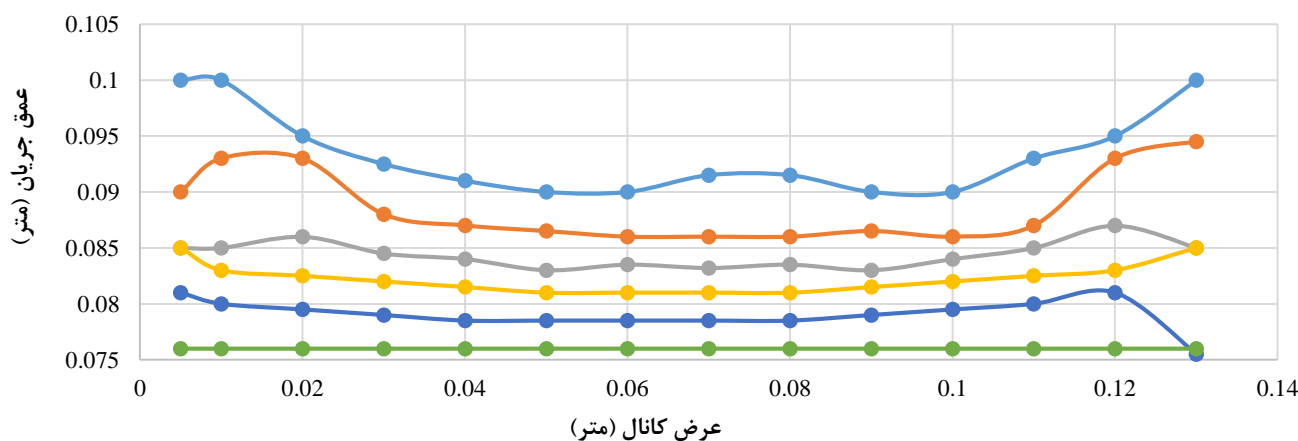
همان‌طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود با انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز دریچه، توزیع تنش برشی با



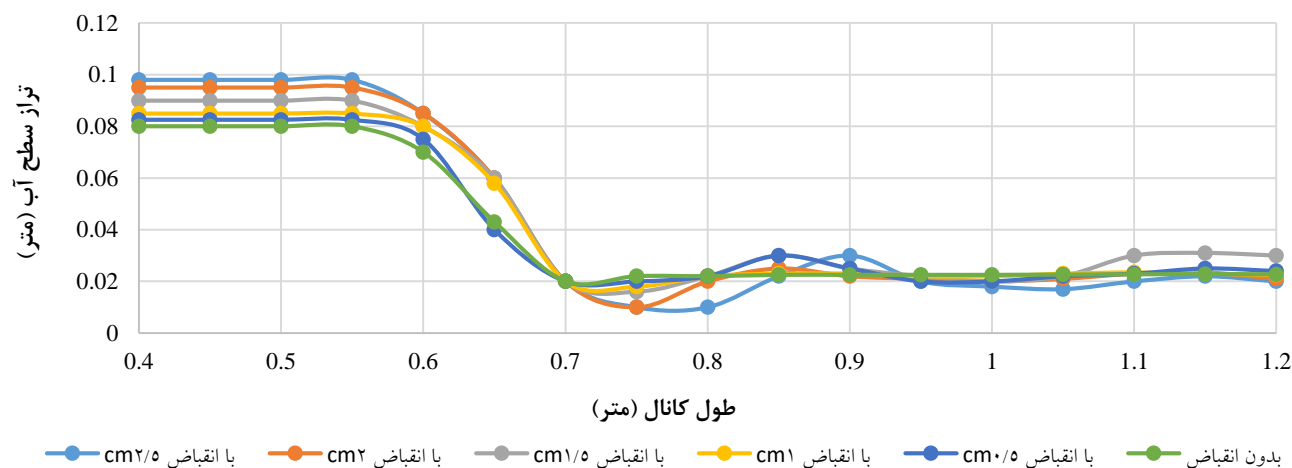
شکل ۱۴- توزیع تنش برشی کف با انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه

شده است. نتیجه می‌شود که هرچه انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه بیشتر باشد تراز سطح فاضلاب بالاتر قرار می‌گیرد.

هم‌چنین توزیع عرضی سطح آزاد فاضلاب بلافاصله قبل از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه و پروفیل تراز سطح فاضلاب در طول کانال برای حالات مختلف انقباض جانبی و بدون انقباض تصفیه‌خانه مقایسه و نتایج در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ ارائه



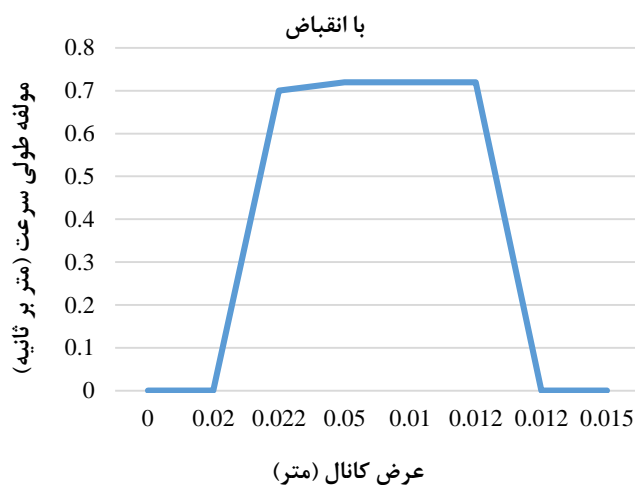
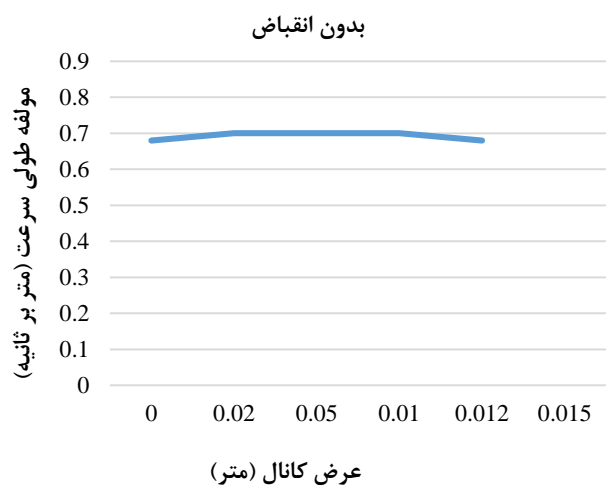
شکل ۱۵- مقایسه عمق جریان در عرض کانال



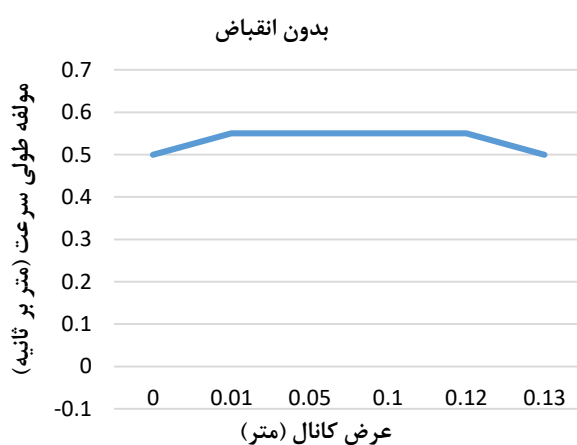
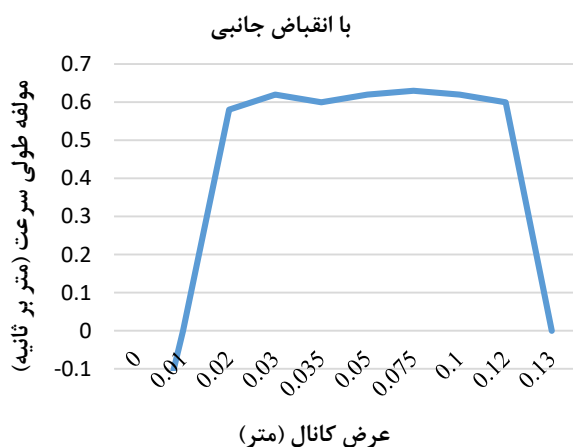
شکل ۱۶- مقایسه عمق جریان در طول کانال به ازای میزان انقباض‌های جانبی مختلف

در بخش‌های رو و زیر تصفیه‌خانه، شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ با بازشدگی دریاچه ۰/۷۵ سانتی‌متر و ورودی ۲/۲۳ لیتر بر ثانیه ارائه شده است.

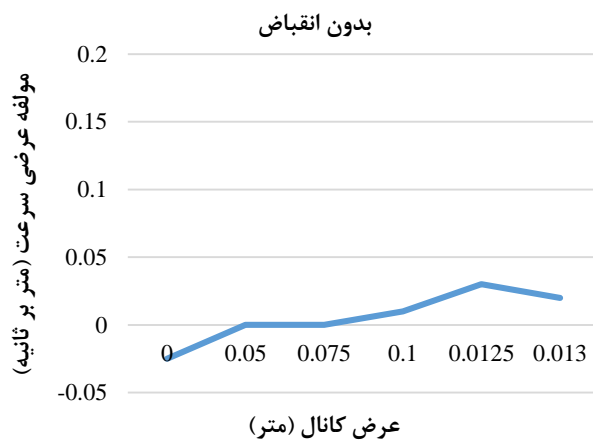
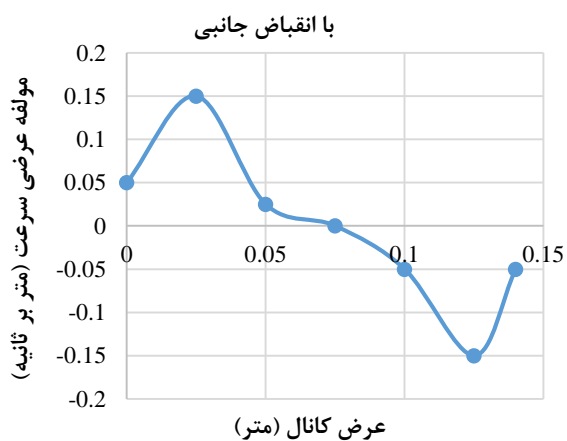
به‌منظور مقایسه توزیع مؤلفه طولی و عرضی سرعت در پلان بین دو حالت با انقباض جانبی ۱/۵ سانتی‌متر به‌عنوان حالت ماکزیمم و حالت بدون انقباض جانبی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل



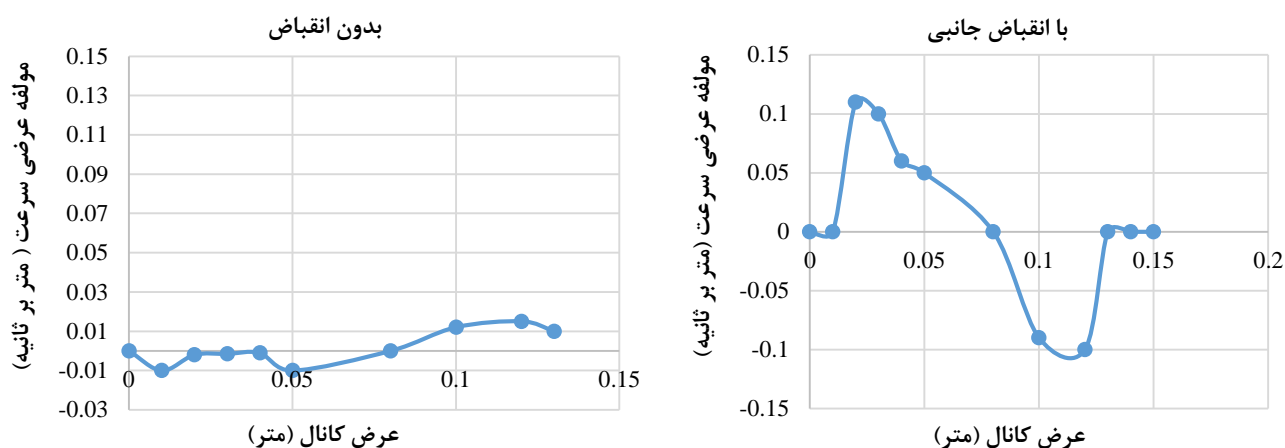
شکل ۱۷ - توزیع مؤلفه طولی سرعت در زیر تصفیه‌خانه



شکل ۱۸ - توزیع مؤلفه طولی سرعت روی تصفیه‌خانه



شکل ۱۹ - توزیع مؤلفه عرضی سرعت در زیر تصفیه‌خانه



شکل ۲۰- توزیع مؤلفه عرضی سرعت روی تصفیه‌خانه در دو حالت با انقباض و بدون انقباض

که مدل‌های $k-\varepsilon$ و $k-\varepsilon$ RNG حفره ته‌نشست و تپه ته‌نشستی تشکیل شده در جلوی حفره را شبیه‌سازی نمودند، ولی مدل آشفتگی LES در شبیه‌سازی عددی ته‌نشست، نتیجه بهتری از دو مدل آشفتگی دیگر نشان داده است.

در ادامه، تأثیر پارامترهای مربوط به مشخصه ته‌نشست بر میزان حداکثر عمق ته‌نشست بررسی شده است. برای بررسی اثر پارامتر شیلدز بحرانی در مطالعه حاضر از اعداد 0.05 ، 0.1 و 0.15 استفاده شده که دلیل انتخاب این محدوده بزرگ نشان دادن روند بهتر جریان است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار پارامتر شیلدز بحرانی، منجر به کاهش حداکثر عمق ته‌نشست می‌شود. همچنین طبق جدول ۳ تأثیر این پارامتر بر حداکثر عمق ته‌نشست ناچیز است.

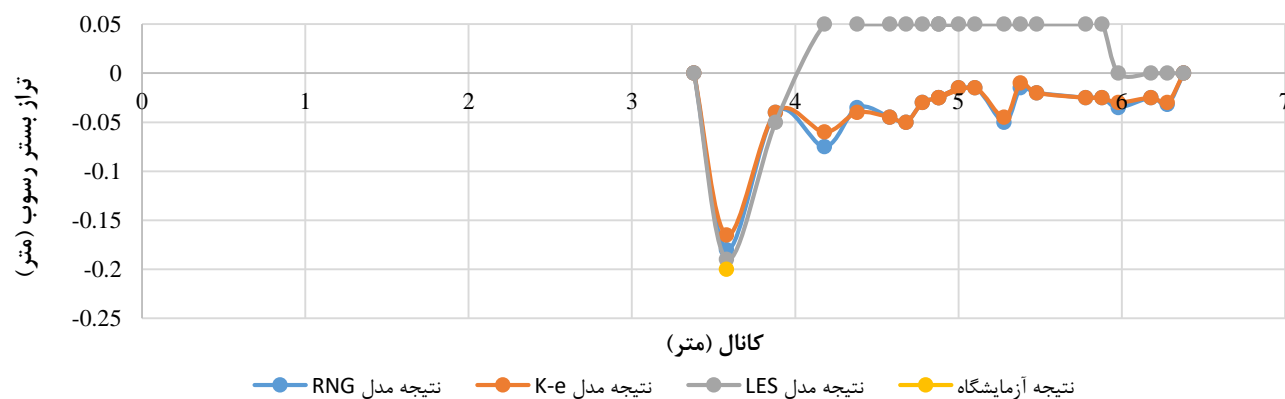
جدول ۳- تأثیر پارامتر عدد شیلدز بحرانی بر حداکثر عمق ته‌نشست

پارامتر شیلدز بحرانی	حداکثر عمق ته‌نشست (متر)
0.05	0.0828
0.1	0.0819
0.15	0.07999

انقباض جانبی در تصفیه‌خانه‌های دایره‌ای شکل سرریز-دریچه عامل تغییر سرعت در اطراف تصفیه‌خانه است. در حالت تصفیه‌خانه‌های با انقباض جانبی، مقادیر سرعت‌های عرضی در زیر دریچه و روی سرریز در مقایسه با تصفیه‌خانه‌های هم‌عرض بسیار قابل‌ملاحظه بوده به طوری که عاملی برای اختلاط و پیچیدگی جریان در مخازن این تصفیه‌خانه‌ها و نیز تفاوت الگوی تنش برشی در کف و در نتیجه الگوی ته‌نشست در مخازن این تصفیه‌خانه‌ها است.

۳-۶- شبیه‌سازی ته‌نشست مخازن

به منظور واسنجی نرم‌افزار در شبیه‌سازی ته‌نشست، از مدل‌های آشفتگی مختلف و تغییر در پارامترهای مختلف ته‌نشست استفاده شده است. به منظور انتخاب بهترین مدل آشفتگی در فرآیند واسنجی، مقایسه نتایج پروفیل بستر حاصل از سه مدل آشفتگی LES، $k-\varepsilon$ و $k-\varepsilon$ RNG با مقادیر آزمایشگاهی صورت گرفته است (شکل ۲۱). نتایج نشان می‌دهد که هر سه مدل آشفتگی LES، $k-\varepsilon$ و $k-\varepsilon$ RNG توانسته‌اند به خوبی پروفیل ته‌نشست را شبیه‌سازی نمایند. نگاه دقیق‌تر به نتایج نشان می‌دهد



شکل ۲۱- مقایسه دقت شبیه‌سازی حفره ته‌نشست

است.

جدول ۶- تأثیر پارامتر حداکثر ضریب تراکم مواد بستر بر حداکثر عمق ته‌نشست

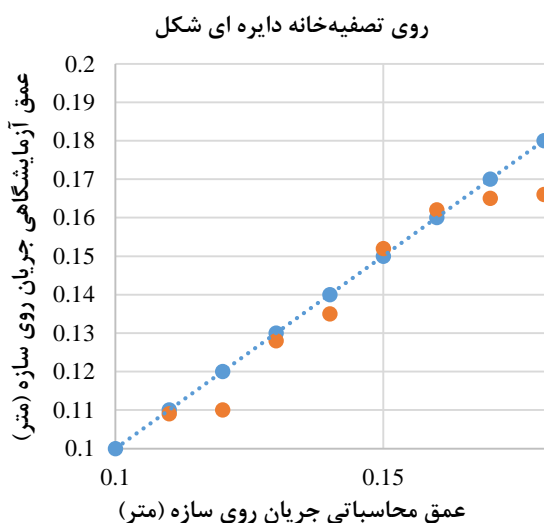
مقدار حداکثر ضریب تراکم مواد بستر	حداکثر عمق ته‌نشست (متر)
۰/۳۸	۰/۰۶۴۴
۰/۵	۰/۰۶۲۴
۰/۷	۰/۰۶۰۲

نتایج کلیه مدل‌سازی‌های انجام شده برای تعیین بهترین مقدار پارامترهای مؤثر در حفره ته‌نشست در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷- بهترین مقادیر برای پارامترهای مؤثر در شبیه‌سازی حفره ته‌نشست

۰/۷	حداکثر اصطکاک
۰/۱	عدد شیلدز بحرانی
۱/۲	ضریب درگ
۰/۱۸	ضریب جذب
۸	ضریب بار بستر
۳۵	زاویه ایستایی (درجه)

به‌منظور ارزیابی دقت مدل LES در تمامی مدل‌سازی‌های انجام شده، عمق جریان در مقطع بالادست و روی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل در شکل ۲۲ مقایسه شده است. همچنین در شکل ۲۳ مقایسه نتایج حداکثر عمق ته‌نشست محاسباتی و داده‌های آزمایشگاهی (Shahrokhi et al. (2012 قابل رویت است.



شکل ۲۲- ارزیابی دقت نرم‌افزار برای عمق جریان در بالادست و روی تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل

به‌منظور بررسی اثر پارامتر ضریب دراگ از سه مقدار ۰/۵، ۱ و ۱/۵ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار پارامتر ضریب دراگ، منجر به افزایش حداکثر عمق ته‌نشست می‌شود. هم‌چنین طبق جدول ۴ این پارامتر بر حداکثر عمق ته‌نشست تأثیر نسبتاً زیادی دارد.

جدول ۴- تأثیر پارامتر ضریب دراگ بر حداکثر عمق ته‌نشست

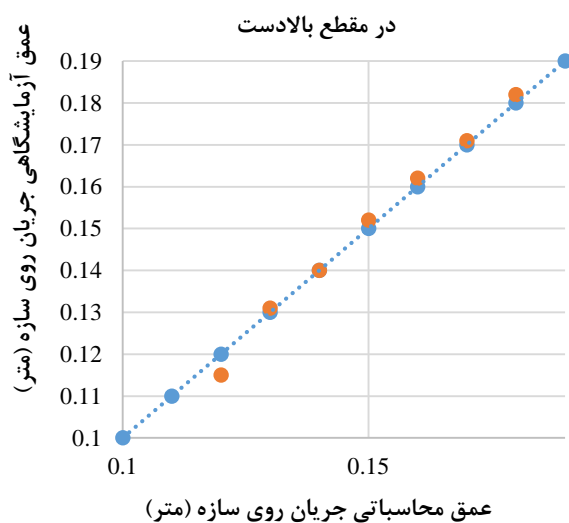
پارامتر ضریب دراگ	حداکثر عمق ته‌نشست (متر)
۰/۵	۰/۰۸۵۱
۱	۰/۱۰۶۸
۱/۵	۰/۱۰۷۶

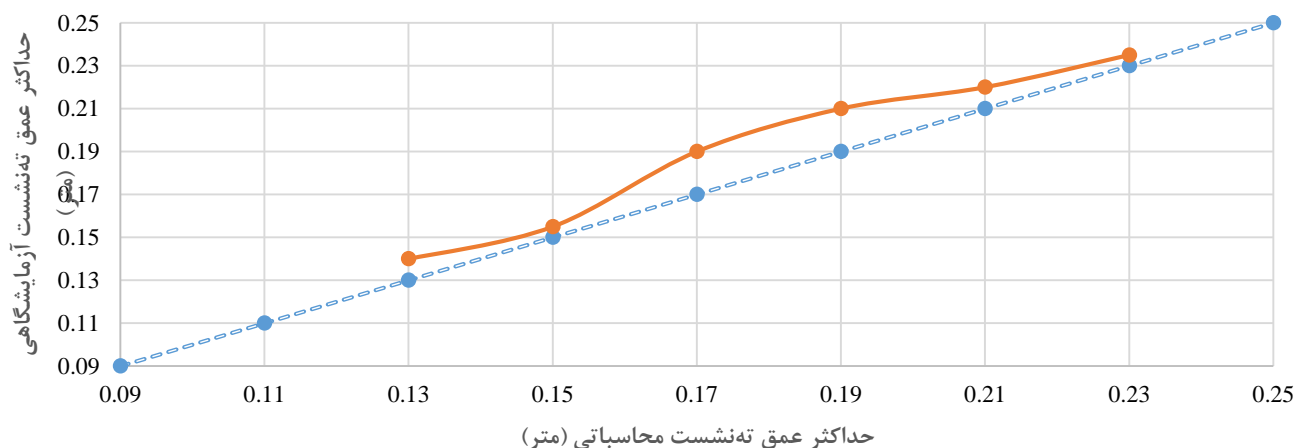
برای بررسی اثر میزان زاویه ایستایی، از مقادیر ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش میزان زاویه ایستایی، منجر به کاهش حداکثر عمق ته‌نشست می‌شود. هم‌چنین طبق جدول ۵ تأثیر این پارامتر بر حداکثر عمق ته‌نشست زیاد است.

جدول ۵- تأثیر زاویه ایستایی بر حداکثر عمق ته‌نشست

زاویه ایستایی (درجه)	حداکثر عمق ته‌نشست (متر)
۳۰	۰/۰۸۱۹۷
۳۵	۰/۰۶۹۹۹
۴۰	۰/۰۶۰۳۹

به‌منظور بررسی اثر پارامتر حداکثر ضریب تراکم مواد بستر از سه مقدار تصادفی ۰/۳۸، ۰/۵ و ۰/۷ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار پارامتر حداکثر ضریب تراکم مواد بستر، منجر به کاهش حداکثر عمق ته‌نشست می‌شود. هم‌چنین طبق جدول ۶ تأثیر این پارامتر بر حداکثر عمق ته‌نشست ناچیز





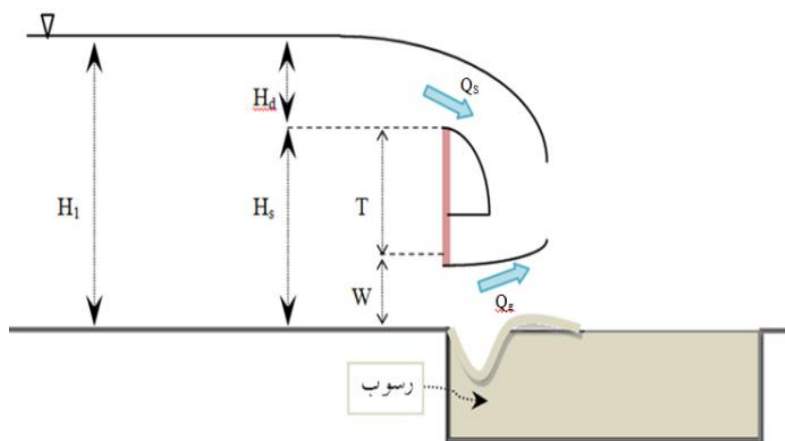
شکل ۲۳- ارزیابی دقت نرم‌افزار برای حداکثر عمق ته‌نشست

ارائه منحنی بررسی شده است. شکل ۲۴ نمای شماتیکی از جریان عبوری از سرریز و زیر دریچه در بستر متحرک را نشان می‌دهد. در نهایت براساس پارامترهای بی‌بعد $\frac{H_1}{W}$ و $\frac{H_d}{T}$ معادله‌ای برای محاسبه نسبت $\frac{Q_s}{Q_g}$ ارائه شد. منحنی‌های مربوط به رابطه نسبت $\frac{Q_s}{Q_g}$ با پارامترهای بی‌بعد $\frac{H_1}{W}$ و $\frac{H_d}{T}$ در شکل ۲۵ روند صعودی داشته اما روند صعودی مربوط به عدد فرود ناچیز است. با برازش منحنی بر داده‌های محاسباتی، رابطه (۳) به‌منظور برآورد نسبت $\frac{Q_s}{Q_g}$ ارائه شده است.

$$\frac{Q_s}{Q_g} = 0.641202 (Fr)^{-0.14064} \left(\frac{H_1}{W}\right)^{0.82775} \left(\frac{H_d}{T}\right)^{1.31624} \quad (3)$$

مقادیر آمارهای خطا با به‌کارگیری رابطه (۳) به‌صورت جدول ۸ است.

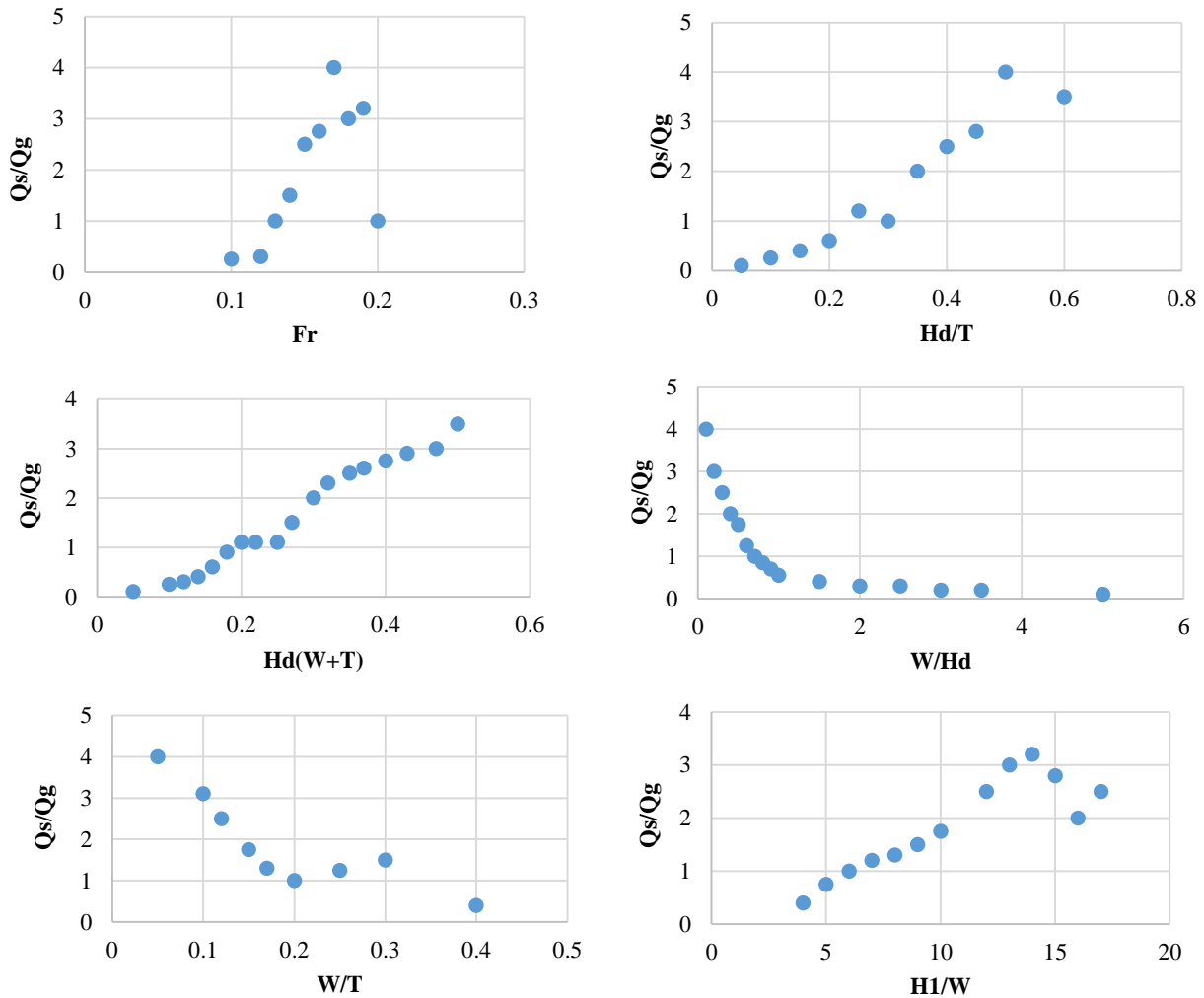
با توجه به منحنی‌های نمایش داده شده، نتایج محاسباتی با نتایج آزمایشگاهی دارای انطباق خوبی بوده و همچنین مدل LES، مدلی مناسب برای شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در بستر متحرک است. همچنین با استفاده از مدل واسنجی مربوط به ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل، مدل‌سازی‌هایی با اضافه‌کردن یک بازشدگی و یک ورودی برای آنالیز ابعادی انجام شد. به‌منظور تعیین مقادیر ورودی عبوری از بالا و پایین تصفیه‌خانه از پروفیل سرعت محاسبه شده در زیر دریچه و روی تاج تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل استفاده شده و مقادیر ورودی متناظر آن‌ها از انتگرال‌گیری پروفیل سرعت محاسبه شده است. به‌همین منظور، ابتدا براساس پارامترهای مؤثر در جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل که عبارتند از بازشدگی W ، طول تصفیه‌خانه T ، هد روی تصفیه‌خانه H_d و عمق بالادست تصفیه‌خانه H_1 و استفاده از پارامترهای بی‌بعد حاصل از آن، چگونگی رابطه پارامترهای بی‌بعد با نسبت ورودی‌های عبوری از روی سرریز به عبوری از زیر دریچه $\left(\frac{Q_s}{Q_g}\right)$



شکل ۲۴- شماتیکی از جریان دایره‌ای شکل عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در بستر متحرک

جدول ۸- نتایج آمارهای خطا

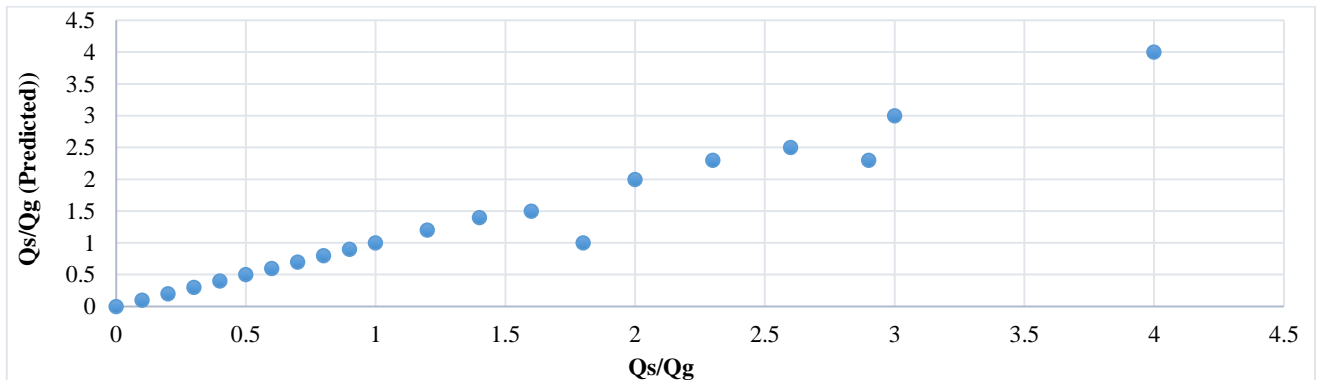
انحراف معیار نسبت‌ها	میانگین نسبت‌ها	نسبت همبستگی (R^2)	جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)
۰/۰۹۳۸۵	۱/۰۰۴	۰/۹۸۳۴	۰/۱۲۷۸۵



شکل ۲۵- نمایش چگونگی رابطه پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل

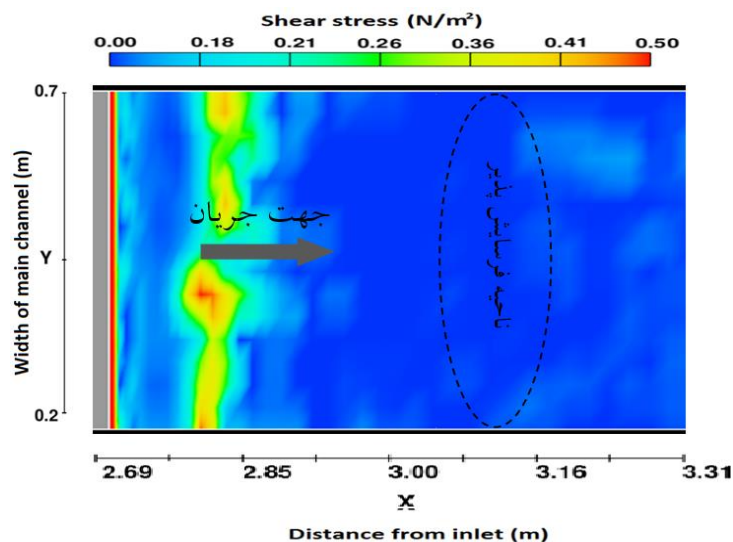
محور قائم مربوط به نسبت دبی ورودی‌های عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در معادله و محور افقی مربوط به نسبت دبی ورودی‌های محاسباتی است.

برای آزمون رابطه پیشنهادی، نسبت ورودی‌های عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در معادله و مقادیر به‌دست آمده از نرم‌افزار مقایسه شده که در شکل ۲۶ قابل رویت است، به‌طوری‌که



شکل ۲۶- نمودار نسبت دبی ورودی عبوری از روی سرریز و زیر دریچه در حالات محاسباتی

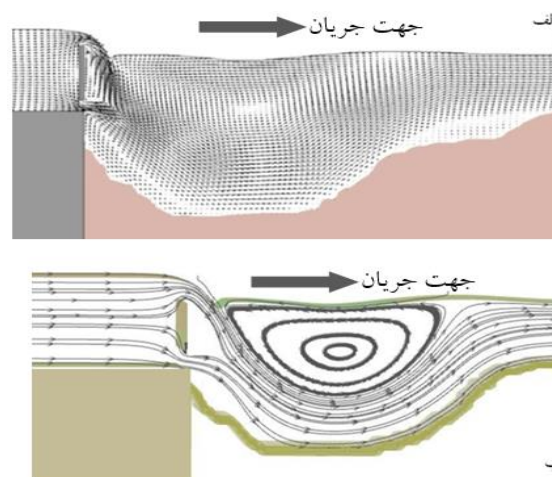
به پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در دو حالت مدل‌سازی هیدرولیک جریان و ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل بررسی شده است. نتایج ارائه شده در شکل ۲۹ بیانگر آن است که نسبت دبی ورودی‌ها به پارامتر بی‌بعد $\frac{W}{H_d}$ و فاضلاب بستگی ندارد.



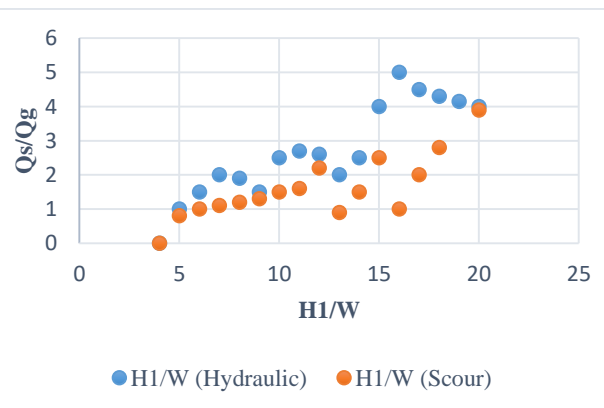
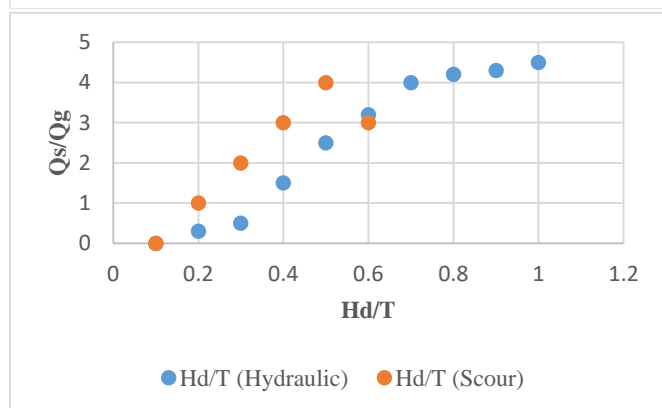
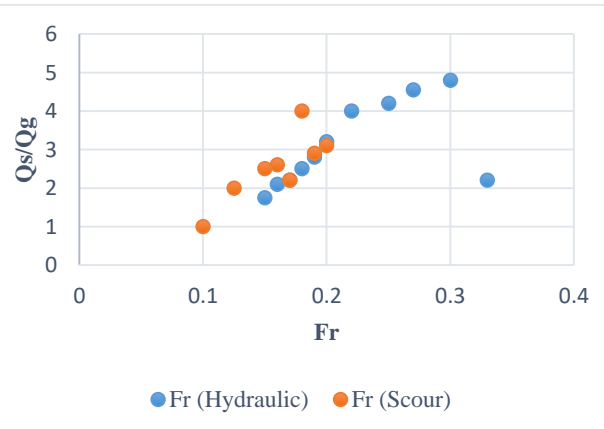
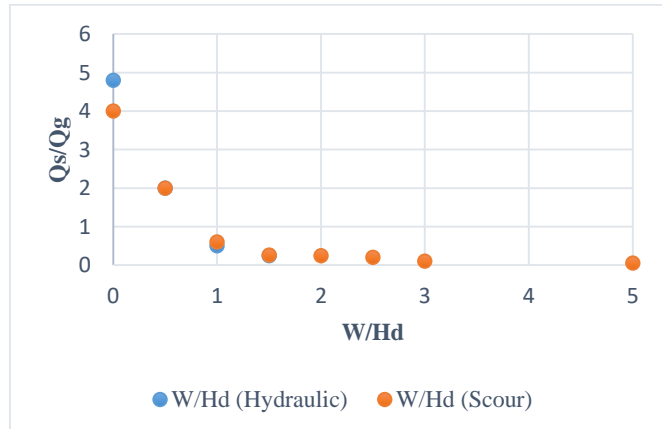
شکل ۲۸- توزیع تنش برشی کف در اطراف حفره ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در ابتدای اجرای برنامه

همچنین در شکل ۲۷ الگوی جریان و در شکل ۲۸ توزیع تنش برشی کف در اطراف حفره ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه محاسبه شده توسط نرم‌افزار Flow3D نشان داده شده است.

در نهایت، به منظور مقایسه روند تغییرات نسبت دبی ورودی‌های عبوری از روی سرریز به عبوری از زیر دریچه نسبت



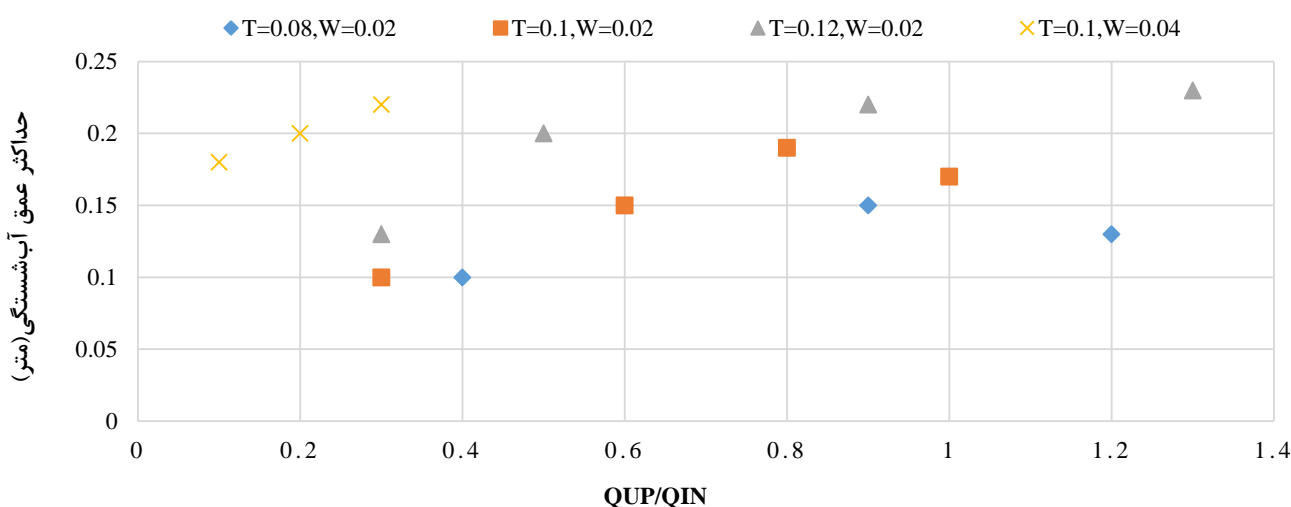
شکل ۲۷- الگوی جریان اطراف تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه: (الف) بردارهای سرعت؛ (ب) خطوط جریان



شکل ۲۹- مقایسه رابطه پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل با نسبت ورودی عبوری از روی تصفیه‌خانه به ورودی عبوری از زیر دریچه $(\frac{Q_s}{Q_g})$ برای بستر ته‌نشست و بستر صلب

می‌دهد که براساس آن، افزایش نسبت ورودی‌ها با افزایش حداکثر عمق ته‌نشست همراه است.

هم‌چنین شکل ۳۰ رابطه حداکثر عمق ته‌نشست با نسبت ورودی‌های عبوری از رو و زیر تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل را نشان



شکل ۳۰- نمودار رابطه حداکثر عمق ته‌نشست با نسبت ورودی‌های عبوری از رو و زیر تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل

برازش منحنی) به دست آمده است که بیانگر میزان همبستگی بالای متغیرهای فوق است.

- با افزایش پارامترهای بی‌بعد $\frac{Hd}{T}$ و $\frac{H1}{W}$ ، نسبت دبی ورودی‌های عبوری از روی سرریز به زیر دریچه ($\frac{Qs}{Qg}$) افزایش و با توجه به روند صعودی ناچیز نمودار عدد فرود، اما با افزایش پارامتر بی‌بعد Fr، نسبت دبی ورودی‌ها کاهش می‌یابد.

۵- مراجع

- منزوی، م.، (۱۳۸۴)، فاضلاب شهری (تصفیه فاضلاب)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- عظیمی ساریخان بگلو، م.، و جباری، ا.، (۱۳۹۵)، "بهینه‌سازی آرایش ورودی مخازن ته‌نشینی اولیه مستطیلی شکل در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه قم، قم، ایران.
- Anderson, N.E., (1945), "Design of final settling tanks for activated sludge", *Sewage Works Journal*, 17 (4), 50-65.
- Ashby, S.F., Manteuffel, T.A., and Saylor, P.E., (1990), "A taxonomy for conjugate gradient methods", *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 27(6), 1542-1568.
- Aslam, M.T., Kainz, H., and Gruber, G., (2011), "Description of the settling behaviour of solids in wastewater. In canal Management", *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 225(2), 4-30.
- Borna, M., Janfeshan A.H., Merufinia, E., and Asnaashari, A., (2014), "Numerical simulations of

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی هیدرولیک جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه و ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل صورت گرفته و علاوه بر ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی، پارامترهای تأثیرگذار بر نسبت ورودی عبوری از روی سرریز به ورودی عبوری از زیر دریچه تعیین شده است. نتایج موردی عبارتند از:

- طبق شبیه‌سازی‌های متعددی که با نرم‌افزار Flow3D انجام شد مشخص شد که این نرم‌افزار دقت خوبی در شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه در دو حالت بستر صلب و بستر متحرک دارد.
- نتایج حاصل بیانگر آن است که مدل‌های آشفتگی RNG k-ε و k-ε از قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی الگوی جریان عبوری از تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه برخوردار هستند.
- از بین مدل‌های آشفتگی مختلف، مدل LES نتایج قابل قبول‌تری در شبیه‌سازی ته‌نشست مخازن تصفیه‌خانه دایره‌ای شکل سرریز-دریچه نشان می‌دهد.
- از مقایسه تأثیر پارامترهای مشخصه ته‌نشست در حداکثر عمق ته‌نشست می‌توان دریافت که پارامترهای ضریب دراگ و زاویه ایستایی تأثیر زیادی بر مقدار ته‌نشست دارند.
- در مطالعه حاضر، روابطی برای نسبت دبی ورودی عبوری از بالا به پایین تصفیه‌خانه براساس پارامترهای بی‌بعد $\frac{Hd}{T}$ و $\frac{H1}{W}$ (از

- distribution and sediment transmission in pre-settled pools using Finite Volume Method and comparison with experimental results”, *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 4(3), 287-292.
- Dobbins, W.E., (1994), “Effects of turbulence on sedimentation”, *Transactions of ASCE*, 10(9), 629-656.
- Griborio, A.G., Rodríguez, J.A., Enriquez, L., and McCorquodale, J.A., (2021), “Use of three-dimensional computational fluid dynamics model for a new configuration of circular primary settling tank”, *Journal of Water Science Technology*, 84(2), 333-348.
- Patziger, M., (2021), “Improving wastewater treatment plant performance by applying CFD models for design and operation: Selected case studies”, *Journal of Water Science Technology*, 84 (2), 323-332.
- Shahrokhi, M., Rostami, F., Said, M.A.M., and Sabbagh Yazdi, S.R., (2012), “The effect of number of baffles on the improvement efficiency of primary sedimentation tanks”, *Journal of Applied Mathematical*, 36(8), 3725-3735
- Su, J., Wang, L., Zhang, Y., and Gu, Z., (2019), “A numerical study on influent flow rate variations in a secondary settling tank”, *Processes*, 7(12), 884.
- Winter, M., and Breitsamter, Ch., (2016), “Efficient unsteady aerodynamic loads prediction based on nonlinear system identification and proper orthogonal decomposition”, *Journal of Fluids and Structures*, 67(2), 1-21.
- Zanganeh, H., and Narakorn, S., (2016), “Three-dimensional VIV prediction model for a long flexible cylinder with axial dynamics and mean drag magnifications”, *Journal of Fluids and Structures*, 66(3), 127-146.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.