نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال ششم، شماره ۳، صفحات ۲۵-۳۵، پاییز ۱۴۰۰

Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 6, No. 3, PP. 25-35, Autumn 2021
DOI: 10.22112/JWWSE.2021.266824.1249

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی واحد ته‌نشینی مجهز به صفحات بافل‌دار در حذف کدورت آب در شرایط سیلابی

عباس حسنی[1*] و نوید نوربخش[2]

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-مدیریت منابع آب، مدیر آب و فاضلاب بندر انزلی، بندر انزلی، ایران.

۲- دکتری شیمی کاربردی، مدیر آب و فاضلاب املش، املش، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: Hasani_abbas_2007@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

آب خام وارده به تصفیه‌خانه‌های گیلان از نوع آب‌های سطحی بوده و با توجه به این‌که خاک منطقه حوضه آبریز رودخانه‌های تأمین‌کننده آن بسیار فرسایش‌پذیر است در بارندگی‌های شدید، خاک‌های شسته شده توسط رواناب‌ها وارد رودخانه و یا کانال شده و باعث بالا رفتن کدورت آب خام ورودی تصفیه‌خانه‌های آب به بیش‌ازحد مجاز پیش‌بینی‌شده در طراحی، می‌شود. در این موقع به‌دلیل جوابگو نبودن تأسیسات تصفیه‌خانه برای چنین کدورت بالایی، به‌ناچار فعالیت تصفیه‌خانه به‌حالت تعطیل درآمده و موجب بروز مشکل قطع آب شرب در شبکه توزیع می‌شود. برای ته‌نشین کردن مواد جامد معلق در آب و کاهش کدورت آب ورودی به مرحله بعدی تصفیه (فیلتراسیون)، از حوضچه‌های ته‌نشینی استفاده می‌شود. صفحات بافل ایجادکننده جریان آرام هستند و به‌منظور کاهش فاصله ته‌نشینی ذره در فرآیند ته‌نشینی و زلال‌سازی استفاده می‌شوند. در این تحقیق استفاده از صفحات بافل یا دیواره‌های آرام‌کننده جریان در حوضچه‌های ته‌نشینی در یک واحد تصفیه‌خانه با استفاده از شبیه‌سازی با نرم‌افزار Camsol، نتایج حاصله در شرایط تجهیز شده و مقایسه با شرایط معمولی، امکان‌سنجی افزایش راندمان این حوضچه‌ها و درنهایت بازدهی تصفیه‌خانه‌های موجود در حجم واقعی مورد محاسبه قرارگرفت.

کلمات کلیدی: تصفیه‌خانه آب، سیل، صفحات بافل، حوضچه ته‌نشینی، کدورت، مدل‌سازی.

Research Paper

Evaluation of the Efficiency of the Sedimentation Unit Equipped with Baffle Plates in Removing Water Turbidity in Flood Conditions

Abbas Hasani[1*] and Navid Nourbakhsh[2]

1- M.Sc. of Civil Engineering-Water Resources Management, Director of the Anzali Water and Wastewater Co., Anzali Port, Iran.

2- Ph.D. in Applied Chemistry- Director of the Amlash Water and Wastewater Co., Amlash, Iran.

*Corresponding Author, Email: Hasani_abbas_2007@yahoo.com

Received: 11/01/2021
Revised: 13/03/2021
Accepted: 17/04/2021
© IWWA

Abstract

The raw water entering the water treatment plants in Guilan province is of surface water type and due to the fact that the soil of the supplying rivers catchment area is highly erodible, in heavy rains the soils washed by runoff enter the rivers or canals and increase the turbidity of raw inflows to the plants above the allowable limits provided in the design. At this time, due to the non-responsiveness of the treatment plant to such high turbidity, the operation of the treatment plant will inevitably be shut down and cause drinking water interruption in the distribution network. In order to settle the suspended solids and reduce the turbidity of water entering the next stage of treatment (filtration), sedimentation ponds are used. Baffle plates create a slow flow and are used to reduce the sedimentation distance of the particle in the sedimentation and clarification process. In this research, the use of baffle plates or flow relief walls in sedimentation ponds in a treatment plant were analyzed using simulation with Camsul software. Results were compared to normal conditions (no baffles or walls) and the feasibility of increasing the efficiency of these ponds and finally the efficiency of existing treatment plants in real volume were investigated.

Keywords: Baffle Plates, Flood, Modeling, Sedimentation, Turbidity, Water Treatment Plant.

۱- مقدمه

یکی از مشکلات دهه اخیر در کشور بروز پدیده نابهنجار سیل است. بروز این پدیده سبب فرسایش شدید خاک آب‌های سطحی، به‌ویژه آب‌های رودخانه در مواقع سیلابی دارای مقادیر متغیری از املاح محلول و مواد معلق نظیر گل و لای و مواد کلوئیدی است (حسنی، ۱۳۹۱). عمل ته‌نشینی عبارت است از رسوب ذرات معلق و ریز موجود در آب به‌منظور تصفیه و پالایش آب که در اثر وزن خود این ذرات زائد با عمل دلمه شدن و یکپارچگی و یا مستقلاً صورت می‌گیرد و درنتیجه در ته مخازنی به نام حوضچه ته‌نشینی رسوب نموده و تجمع می‌کنند. این‌یک روش تصفیه فیزیکی معمول در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب است (بوداغی، ۱۳۹۱). کدورت[1] پدیده‌ای است که میزان شفافیت آب را مشخص می‌کند و به‌عنوان یک خاصیت ظاهری آب محسوب می‌شود. کدورت آب در اثر وجود ذرات کلوئیدی است که اغلب با افزایش مواد معلق در منبع تأمین‌کننده آب به‌وجود می‌آید (حسنی، ۱۳۹۱). این افزایش بر اثر عوامل جوی از جمله بارندگی و سیلاب است. مقادیر بالای کدورت، می‌تواند از تأثیر ماده گندزدا بر میکروارگانیسم‌ها بکاهد و باعث تشدید رشد باکتری‌ها در شبکه توزیع شود. از طرفی کدورت در آب عموماً توسط مواد معلقی مثل خاک و گل و لای، مواد آلی و معدنی ریز، ترکیبات آلی رنگی محلول و پلانکتون‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود. کدورت آب را با کدورت‌سنج که میزان پراکندگی و جذب نور حاصل از منبع نوری حین عبور از محلول را اندازه می‌گیرد (پیکری، ۱۳۸۵).

یکی از مراحل تصفیه آب، ته‌نشینی و زلال‌سازی است. انتخاب نوع حوض ته‌نشینی بستگی به حجم آب وارده، کیفیت آب بار سطحی، حجم و ابعاد حوضچه و غیره دارد. اغلب حوض‌های ته‌نشینی متعارف براساس دبی متوسط و کدورت‌های عادی طراحی می‌شوند و قابلیت تاب‌آوری در کدورت‌های بالا را ندارند زیرا که برای این موضوع نیاز به فضای زیادی نیاز دارند و هزینه‌های احداث نیز به تبع بزرگتر شدن سازه‌ها بیشتر می‌شود. به‌همین دلیل در تصفیه‌خانه‌هایی که احداث شده‌اند و با مشکل عدم قابلیت تصفیه آب‌های گل‌آلود مواجه هستند. بنابراین در مواقع بحرانی و افزایش ناگهانی کدورت آب خام به‌کارگیری سیستم قابل‌اعتماد به‌منظور حذف کدورت و برداشت آب شرب ضروری به‌نظر می‌رسد. این سیستم سبب موارد زیر می‌شود (بوداغی، ۱۳۹۱):

- افزایش راندمان تصفیه‌خانه‌ها در مواجهه با ورود آب‌های گل‌آلود؛
- تأمین پایدار آب شرب ساکنین منطقه و رضایت‌مندی مشترکین؛
- مدیریت بحران در تصفیه‌خانه‌ها در زمان وقوع سیل؛
- فروش پایدار آب شرب و تأمین مالی شرکت‌های آب و فاضلاب؛
- کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای برای توسعه تأسیسات تصفیه آب.

سرعت ته‌نشین شدن مواد که شاخصه مهم راندمان یک حوضچه ته‌نشینی است به عوامل مختلفی مانند وزن مخصوص، قطر ذرات و درجه حرارت آب و هم‌چنین شکل هندسی، ابعاد و ترتیب قرارگرفتن حوضچه‌های ته‌نشینی بستگی دارد. یک روش معروف اصلاح و بهبود عملکرد حوضچه‌های ته‌نشینی متداول در تصفیه آب، نصب وسایل ایجادکننده جریان آرام در آن‌ها است که حذف جامدات و کاهش کدورت را بهبود می‌بخشند، زیرا: ۱) فاصله یک ذره تا رسیدن به ناحیه لجن کاهش می‌یابد (بنابراین بار سطحی حوضچه کاهش می‌یابد)؛ ۲) جریان آرام در حوضچه برقرار می‌شود (بنابراین شرایط نزدیک‌تر به ته‌نشینی ایده آل ایجاد می‌شود) و ۳) از اثر جریان‌های غلیظ، جریان‌های حرارتی و اثر باد که سبب کاهش راندمان ته‌نشینی حوضچه‌های متداول می‌شوند، جلوگیری می‌کنند (جوادی راد، ۱۳۹۶). صفحات بافل صفحات ایجادکننده جریان آرام هستند و به‌منظور کاهش فاصله ته‌نشینی ذره در فرآیند ته‌نشینی و زلال‌سازی استفاده می‌شوند.

۲- مواد و روش‌ها

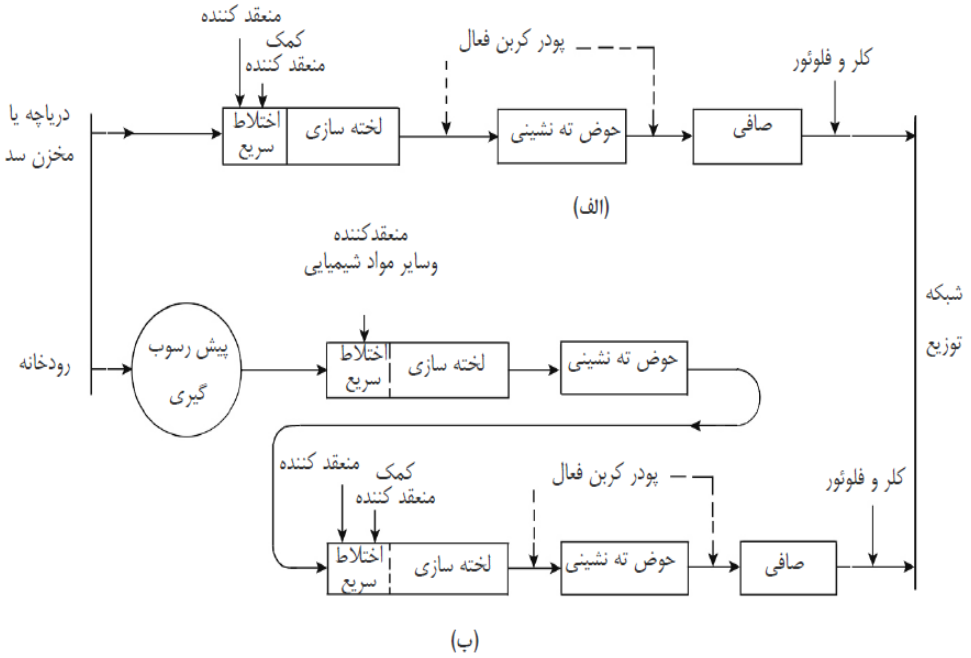
۲-۱- مکانیسم‌های ته‌نشینی ذرات

در رابطه با فرآیندهای فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه آب و فاضلاب ته‌نشینی مواد، ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین روش، جداسازی مواد جامد از سیال است. ذرات جامد موجود در فاضلاب فاقد شکل هندسی منظمی هستند و هم‌چنین در مقایسه با ذرات کروی از سطح بزرگ‌تری برخوردارند. سطح بزرگ‌تر ذرات مزبور باعث می‌شود که با وجود یکسان بودن حجم، آهسته‌تر از ذرات کروی ته‌نشین می‌شوند. هم‌چنین به‌دلیل تغییر سطح مقاومت و اصطکاک ذرات در جهت‌های مختلفی حرکت می‌کنند. تمامی عوامل مذکور باعث شده است که ته‌نشین شدن ذرات موجود در فاضلاب از نظم و قاعده معینی پیروی نکند (بوداغی، ۱۳۹۱). به‌طورکلی ته‌نشینی ذرات چهار حالت دارد:

- ته‌نشینی نوع اول (ته‌نشینی ذرات معلق به‌طور مجزا)[2]
- ته‌نشینی نوع دوم (ذرات لخته شده و چسبنده)[3]
- ته‌نشینی نوع سوم (ته‌نشینی ناحیه‌ای به‌صورت پتوی لجن)[4]
- ته‌نشینی نوع چهارم (ته‌نشینی فشرده)[5]

فرآیندهای تصفیه آب[۶] که به‌طور معمول برای آب‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند مطابق شکل ۱ عبارتند از: آشغال‌گیر؛ تصفیه شیمیایی مقدماتی؛ انعقاد و لخته‌سازی؛ ته‌نشینی؛ فیلتراسیون؛ جذب سطحی؛ گندزدایی و ذخیره‌سازی.

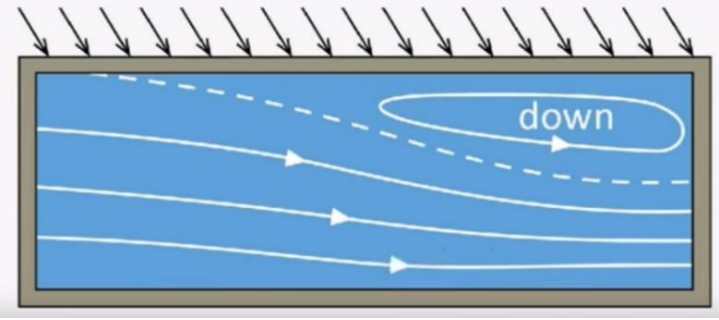
تصفیه آب معمولاً برای شرب و سایر مصارف صنعتی صورت می‌گیرد؛ ولی تصفیه فاضلاب‌ها اساساً برای کاهش آلایندگی یا حذف مواد خطرناک آن‌ها صورت می‌گیرد. فرآیندهای تصفیه آب عمدتاً شامل روش‌های فیزیکی فیلتراسیون و ته‌نشینی (و روش‌های شیمیایی) انعقاد با مواد شیمیایی خاص است یا ممکن است با استفاده از برخی فرآیندهای پیشرفته (اسمز معکوس، رزین‌ها، تبادل یونی و غیره) صورت پذیرد (آشفته، ۱۳۸۵).



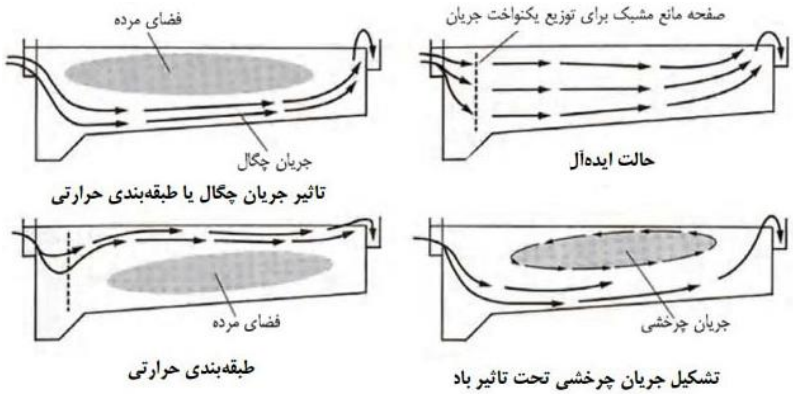
شکل ۱- فرآیندهای متداول در تصفیه آب‌های سطحی: الف) آب‌های سطحی ساکن؛ و ب) آب‌های سطحی جاری

به‌منظور بهینه‌کردن عملکرد حوضچه‌ها، باید جریان سیال وارد شونده به حوضچه آرام باشد و آشفتگی به‌مقدار حداقل رسانده شود. مطابق شکل ۲ مناطق چرخشی همیشه در حوضچه‌ها وجود دارند. این مناطق با ایجاد اتصال کوتاه باعث توسعه نواحی مرده و دوری از ته‌نشینی بهینه می‌شوند. زیرا ایجاد نواحی مرده و مناطق با اتصال کوتاه به آرامش جریان لطمه وارد می‌کند و بر عملکرد حوضچه تأثیرات منفی می‌گذارد. اگر غلظت درون حوضچه زیاد باشد، امکان ایجاد پدیده اتصال کوتاه به‌وجود می‌آید که بدون این‌که توده غلیظ تغییری بنماید، جریان ورودی به سمت خروجی هدایت می‌شود. نواحی مرده به قسمتی از حوضچه اطلاق می‌شود که با توجه به گرادیان سرعت در ورودی حوضچه، چرخش جریان مانع از ایجاد شرایط مناسب برای ته‌نشینی می‌شود. لذا با کاهش نواحی مرده درون حوضچه، بستر مناسبی برای ترسیب مواد ایجاد خواهد شد. طراحی این حوضچه‌ها و زمان ماندن آب درون آن‌ها نیاز به بررسی بیشتری دارد. زیرا هزینه ساخت حوضچه‌های ته‌نشینی در یک تصفیه‌خانه برابر حدود ۳۰ درصد هزینه کل یاد شده است (ابهری، ۱۳۹۷).

شکل ۳، الگوهای جریان ایجاد شده در اثر عوامل مختلف در یک حوضچه مستطیلی شکل را در مقایسه با حالت ایده‌آل نشان می‌دهد.

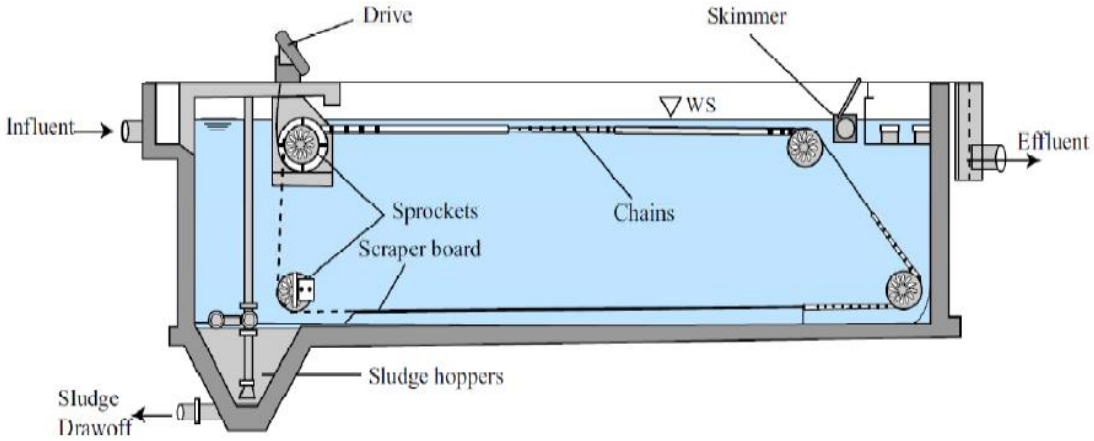


شکل ۲- شماتیک جریان مدار کوتاه در حوضچه مستطیلی



شکل ۳- الگوی جریان چرخشی در حوضچه مستطیلی

مخازن مستطیلی مطابق شکل ۴ در تصفیه‌خانه‌های با دبی زیاد کاربرد دارند و ضمن این‌که ازنظر هیدرولیکی پایدارتر هستند، کنترل جریان نیز در آن‌ها آسان‌تر است. کف این مخازن برای تسهیل در برداشت و تخلیه لجن شیب‌دار است و به‌طور معمول طول آن‌ها ۲ تا ۴ و گاه تا ۸ برابر عرض آن‌ها و ۱۰ تا ۲۰ برابر عمق آن‌ها است (Ahmed, 1996).



شکل ۴- شماتیک حوضچه ته‌نشینی مستطیلی

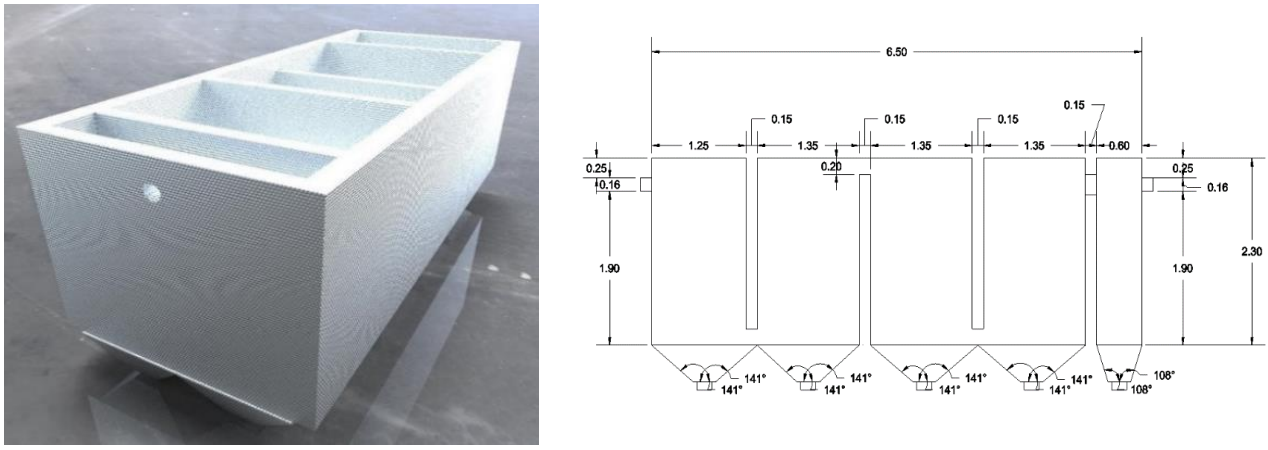
در این تحقیق برای بررسی مدل مستطیلی شکل حوضچه ته‌نشینی در راندمان حذف جریان گل‌آلود پس از بررسی انواع حوضچه ته‌نشینی از روش شبیه‌سازی مدل واقعی با نرم‌افزار استفاده شده است. رودخانه‌های استان گیلان اکثراً دارای کدورت بوده و در بعضی مواقع از سال کدورت آب این رودخانه و کانال‌های منشعب شده به‌دلیل بارش‌های سیل‌آسا و بالا بودن فرسایش خاک در حوزه آبریز رودخانه و حاشیه کانال‌های منشعب شده از آن به بیش از حد متعارف در نظر گرفته شده برای تصفیه و زلال‌سازی می‌رسد. لازم است که برای مقابله با این شرایط ارتقای تصفیه‌خانه به‌خصوص واحد ته‌نشینی در دستور کار قرار گیرد (Goula et al., 2008).

۲-۲- شبیه‌سازی حوضچه ته‌نشینی مستطیلی با نرم‌افزار کامسول

در این تحقیق، نتیجه تأثیر استفاده از صفحات بافل در دو نوع حوضچه ته‌نشینی مستطیلی دارای صفحات بافل و حوضچه‌های بدون صفحات بافل با شبیه‌سازی با نرم‌افزار کامسول[۷] مدل‌سازی و مقایسه شد که امکان‌سنجی افزایش راندمان حوضچه در حجم واقعی را مشخص نمود. درواقع این شبیه‌سازی نشان داد در یک حجم واقعی اگر آب خام با کدورت یکسان وارد این حوضچه‌ها شود و طبق روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب، کدورت آب و کل جامدات محلول مورد سنجش قرارگیرد می‌توان با مقایسه کدورت آب در خروجی دو نوع حوضچه، نتیجه به‌دست آمده از شبیه‌سازی را برای مدل واقعی بسط داد. در واقع می‌توان شرایط حاکم بر حرکت جریان در یک حوضچه با ابعاد واقعی را در نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی و تحلیل نمود.

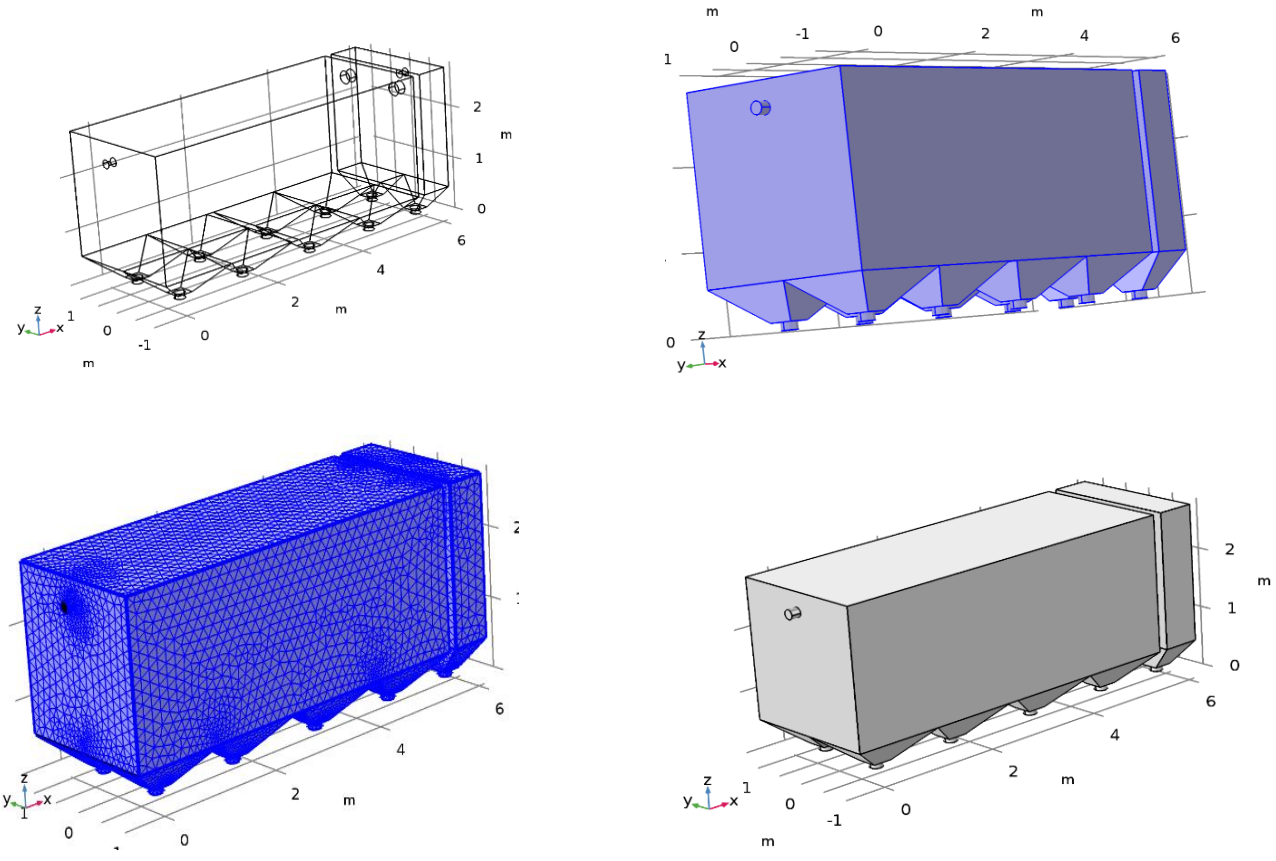
نرم‌افزار تجاری کامسول یک مجموعه کامل شبیه‌سازی است که در سال‌های اخیر وارد بازار شده است و قادر است معادلات دیفرانسیل سیستم‌های غیرخطی را توسط مشتق‌های جزئی به روش المان محدود[۸] (FEM) در فضاهای یک، دو و سه‌بعدی

حل نماید. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان طراحی و شبیه‌سازی پروژه‌های مهندسی برق، مکانیک، علوم زمین، شیمی، فیزیک، نجوم و کوانتوم را انجام داد. نرم‌افزار هم‌چنین این امکان را به کاربر می‌دهد که برای بررسی دقیق‌تر مدل، از چند ماژول مختلف (شیمیایی، الکتریکی، مکانیکی، الکترومغناطیسی و ...) به‌صورت هم‌زمان استفاده کند. قابلیت‌هایی ازاین‌دست، این نرم‌افزار را به یک شبیه‌ساز عددی قدرتمند تبدیل کرده است که می‌تواند شبیه‌سازی را با در نظر گرفتن تمام پدیده‌های مؤثر بر مدل انجام دهد. هم‌چنین این نرم‌افزار امکان تعامل با نرم‌افزارهای مهندسی‌مانند MATLAB، CATIA، SolidWorks و AutoCAD را دارد (Comsol, 2018). براساس توانایی شبیه‌سازی و مطالعه مسائل، می‌توان با استفاده از تحلیل نرم‌افزار کامسول شرایطی را که رسیدن به آن در شرایط آزمایشگاهی غیرممکن است را نیز موردمطالعه قرارداد.



(ب) (الف)

شکل ۵- هندسه و ابعاد مورداستفاده در شبیه‌سازی: الف) مدل دوبعدی؛ و ب) مدل سه‌بعدی حوضچه بافل دار



شکل ۶- هندسه و ابعاد مورد استفاده در شبیه‌سازی مدل سه‌بعدی حوضچه بدون بافل

جدول ۱- اطلاعات مورد محاسبه و سنجش در حوضچه ته‌نشینی (Joodi, 2013)

پارامترهای ته‌نشینی	علائم اختصاری	واحد	حوضچه پایلوت با بافل	حوضچه پایلوت بدون بافل
طول	L	متر	۶/۵	۶/۵
عرض	B	متر	۲/۲	۲/۶
عمق	H	متر	۲/۳	۲/۳
مساحت سطح حوضچه	A	مترمربع	۱۶/۹	۱۶/۹
حجم حوضچه	V	مترمکعب	۳۸/۸۷	۳۸/۸۷
دبی ورودی	Q	مترمکعب بر ساعت	۳۶	۳۶
بار سطحی یا سرعت ته‌نشینی خطی	V_0	متر بر ساعت	۲/۱۳	۲/۱۳
زمان ماند هیدرولیکی	t	ساعت	۱/۰۷	۱/۰۷۹۷
سرعت جریان افقی یا سرعت ته‌نشینی ایده‌آل	Vt	متر بر ساعت	۶/۰۲	۶/۰۲۰۱

۲-۳- مدل‌سازی جریان غلیظ با روش ردیابی مواد مخلوط در آب

مدل مخلوط در نرم‌افزار کامسول و سایر نرم‌افزارهای CFD برای دو فاز یا بیشتر طراحی شده است. در این مدل فازها به‌عنوان یک محیط پیوسته در هم نفوذکننده درنظر گرفته شده و معادلات مومنتوم برای مخلوط حل و از سرعت‌های نسبی برای تشریح فازهای پراکنده استفاده می‌شود. مدل مخلوط برای جریان‌های پر ذره با بار کم، جریان‌های حبابی، ته‌نشینی و جداکننده‌های سیکلونی به‌کار برده می‌شود. مدل مخلوط را هم‌چنین می‌توان بدون سرعت‌های نسبی برای فازهای پراکنده، برای مدل کردن جریان چند فازی یکنواخت نیز استفاده کرد. در این تحقیق از روش فیزیک و معادلات جریان مخلوط استفاده شده و علاوه‌بر مدل‌سازی سرعت جریان مخلوط در داخل حوضچه، درصد کسر حجمی مواد مخلوط شده نیز مورد محاسبه قرارگرفته است. در جدول ۲ مقادیر لازم در این مدل‌سازی ذکر شده است.

جدول ۲- اطلاعات و پارامترهای مورداستفاده در شبیه‌سازی جریان مخلوط

شرح فارسی مقادیر	نام پارامتر در نرم‌افزار	شرح لیست مقادیر پارامتر
رابطه فیزیکی استفاده شده	Mixture Model, k-ε (mm)	فیزیک مدل مخلوط
نوع جریان سیال	وابسته به زمان	مرحله مطالعه
غلظت (کیلوگرم بر مترمکعب)	غلظت Rhos	۳۰۰۰ ۴۰۰۰ ۵۰۰۰
ویسکوزیته دینامیکی	Dynamic viscosity	eta(T[1/K])[Pa.s]
چگالی	Density	rho(T[1/K])[kg/m^3]
فاز پیوسته	Continuous phase	آب
فاز گسسته (ثانویه)	Dispersed phase	مواد جامد معلق
چگالی فاز پیوسته	Density, continuous phase	چگالی آب
چگالی فاز گسسته (ثانویه)	Density, continuous phase	۱۰۰۰
ویسکوزیته دینامیکی فاز پیوسته	Dynamic viscosity, continuous phase	۰/۰۰۱ ویسکوزیته آب
چگالی فاز گسسته (ثانویه)	Density, dispersed phase	۵۰۰۰
قطر ذرات	Diameter of particles/droplets	1e^{-5}[m]
مدل ویسکوزیته مخلوط	Mixture viscosity model	Krieger type
درصد حداکثر غلظت	Maximum packing concentration	۰/۶۲

۲-۴- معادلات بکار رفته در شبیه‌سازی جریان مخلوط

فرایند مدل‌سازی با حل هم‌زمان معادلات انتقال جرم و مومنتوم و معادله نفوذ-جابجایی با روش المان محدود توسط نرم‌افزار کامسول انجام شده است. معادلات پیوستگی و مومنتوم را تحت عنوان معادلات اساسی می‌شناسند و بقیه معادلات به نحوی کمک‌کننده حل این دو معادله محسوب می‌شوند. در حل معادله پیوستگی باید مجموع کسر حجمی‌ها برابر یک باشد.

۳- نتایج

۳-۱- مقایسه راندمان حذف کدورت در دو نوع حوضچه بافل‌دار و حوضچه بدون بافل

در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و مقایسه راندمان تصفیه‌خانه‌ها از شاخص کدورت استفاده شده است. بدین منظور مدل ساخته شده توسط محدوده‌ای از کدورت از ۸۰ NTU و درنهایت تا ۳۰۰ NTU برای مدل معمولی و برای سیستم تصفیه بافل‌دار تا محدوده ۲۵۰۰ NTU مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در کدورت‌های بالاتر استفاده از دیواره بافل موجب تأثیر بیشتر مواد منعقدکننده شده و افزایش راندمان تله‌اندازی تقریباً کل مواد معلق می‌شود. برای نمونه در کدورت ورودی پائین ۱۰۰ NTU راندمان حوضچه بافل‌دار ۸۵ درصد بوده و در کدورت بالای ۲۵۰۰۰ NTU راندمان حذف به ۹۹ درصد رسیده است.

۳-۲- مقایسه شبیه‌سازی میدان سرعت جریان در حوضچه بدون بافل و حوضچه بافل‌دار

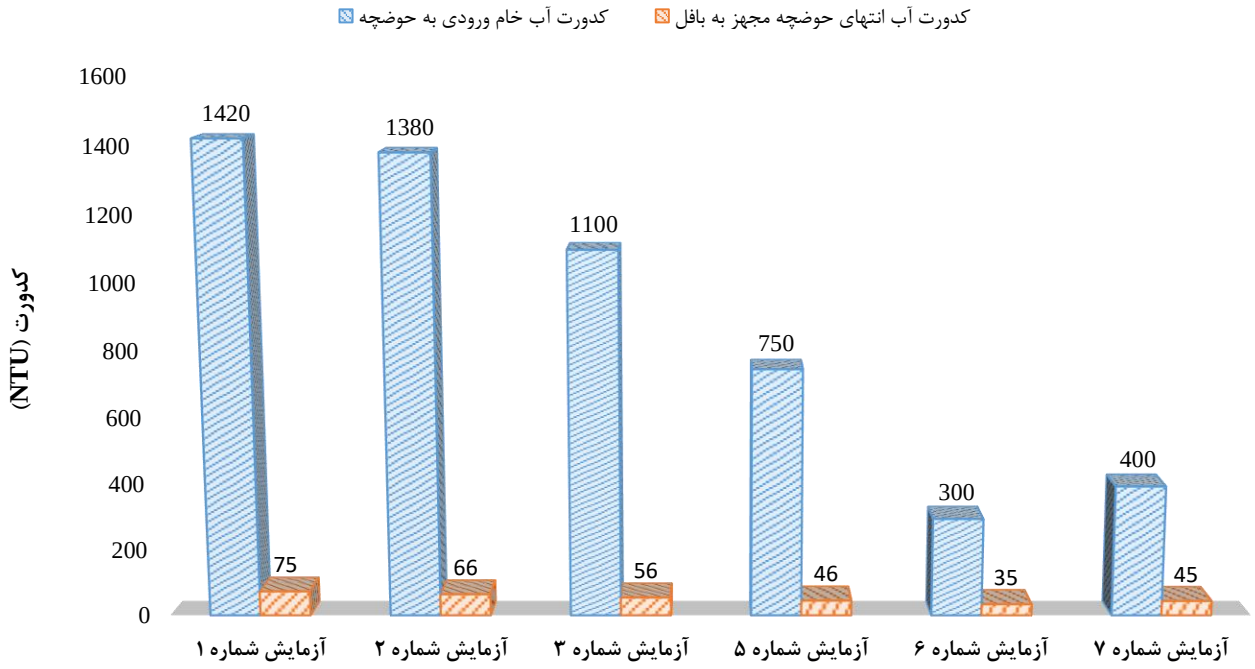
شبیه‌سازی حوضچه‌های ته‌نشینی بافل‌دار و بدون بافل برای بررسی هیدرولیک جریان ایجاد شده در این دو نوع هندسه مورد تحقیق و آگاهی از رفتار هیدرولیکی جریان سیال و مخلوط وارده به حوضچه، میدان سرعت جریان در طول حوضچه مورد بررسی قرار گرفت. خروجی دوبعدی نرم‌افزار کامسول رفتار سیال را در این دو نوع حوضچه نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر حوضچه بافل‌دار مشاهده می‌شود جریان در برخی نقاط بسیار آرام‌تر بوده و فرصت ته‌نشینی به مواد معلق را فراهم می‌کند. اما در حوضچه بدون بافل مشخص است که بیشترین سرعت در سطح بوده و مواد معلق فرصت حرکت در عمق را نداشته و عمق حوضچه نقشی در ته‌نشینی و رسوب مواد معلق ندارد.

جدول ۳- راندمان حذف کدورت در حوضچه ته‌نشینی بدون بافل

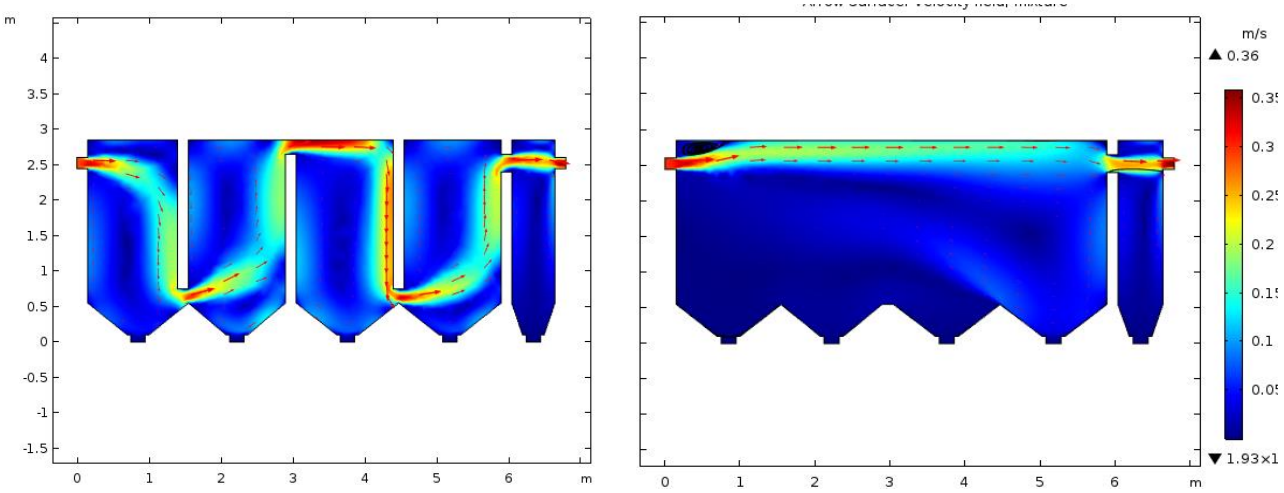
کدورت آب وارده به تصفیه‌خانه NTU (آبگیر)	راندمان حذف کدورت در حوضچه ته‌نشینی بدون بافل (درصد)	کدورت آب خروجی از استخر ته‌نشینی NTU (ورودی فیلتر)
۸۰	۵۰	۴۰
۱۰۰	۵۵	۴۵
۱۵۰	۵۰	۵۰
۲۵۰	۷۰	۷۰
۳۰۰	۶۸	۹۵
> ۳۰۰	--	> ۱۲۰

جدول ۴-راندمان حذف کدورت در حوضچه ته‌نشینی پس از اجرای بافل

کدورت آب وارده به تصفیه‌خانه (NTU)	راندمان حذف کدورت در حوضچه ته‌نشینی با بافل (درصد)	کدورت آب خروجی از استخر ته‌نشینی (NTU)
۸۰	۸۵	۱۲
۱۰۰	۸۵	۱۵
۱۵۰	۸۸	۱۷
۲۵۰	۹۳	۱۷
۳۰۰	۹۳	۲۰
۴۰۰	۹۵	۲۰
۵۰۰	۹۵	۲۵
۱۰۰۰	۹۸	۲۰
۱۵۰۰	۹۸/۸۷	۱۷
۲۰۰۰	۹۹/۲۵	۱۵
۳۰۰۰	۹۹/۵۰	۱۵
۲۵۰۰۰	۹۹/۹۴	۱۵
> ۲۵۰۰۰	-	-



شکل ۷- نمودار راندمان حذف کدورت درتصفیه‌خانه مجهز به بافل



شکل ۸- پروفیل طولی میدان سرعت جریان سیال مخلوط در: الف) حوضچه بدون بافل؛ و ب) حوضچه بافل‌دار

مقایسه خروجی شبیه‌سازی در نرم‌افزار کامسول نشان داد که در حوضچه فاقد بافل، جریان گل‌آلود واردشده به حوضچه دارای آب صاف تقریباً به‌طور مستقیم و افقی به سمت خروجی پیش می‌رود و عمق حوضچه تأثیر زیادی در تله‌اندازی مواد معلق و جریان گل‌آلود نداشته و جریان با سرعت سطح آب را به‌سمت خروجی حوضچه طی می‌کند. ولی در حوضچه بافل‌دار جریان وارده (مواد معلق) مجبور به طی کردن عمق حوضچه و مسیر طولانی‌تر است که موجب بالارفتن کارایی عمق حوضچه و استفاده مفید از تمام قسمت‌های حوضچه در ته‌نشینی مواد معلق می‌شود.

وجود صفحات بافل به‌عنوان مانع حرکت سریع طولی جریان گل‌آلود عمل کرده و ابتدا در عرض حوضچه‌های کوچک قبل از هر بافل به‌طور کامل پخش شده و سپس به حوضچه بعدی می‌رسد. با توجه به این‌که وجود تلاطم در جریان موجب به تأخیر افتادن عمل ته‌نشینی شود، در نتایج بررسی‌های این تحقیق مشخص شد صفحات بافل تلاطم جریان را کاهش می‌دهند.

آشفتگی جریان سیال در طول حوضچه‌های ته‌نشینی سبب متغیر بودن جریان درون این حوضچه‌ها می‌شود که همین موضوع یکی از عوامل اصلی کاهش راندمان حوضچه‌های ته‌نشینی فاقد صفحات آرام‌کننده جریان است. در این تحقیق که

تأثیر اضافه کردن صفحات بافل به حوضچه‌های فاقد بافل به‌عنوان آرام‌کننده جریان مورد بررسی قرارگرفته است، عامل سرعت در طول حوضچه تحلیل شد. آشفتگی جریان در طول حوضچه بدون بافل در شکل (الف) کاملاً قابل مشاهده است. یکی از عوامل کاهش راندمان ته‌نشینی ذرات و مواد معلق است. اما در شکل (ب) مشاهده می‌شود که پروفیل طولی نوسان کمتری داشته و بیشتر در محدوده آرام‌تر قرارگرفته است. این موضوع به ایجاد فرصت برای ته‌نشینی مواد معلق کمک زیادی کرده است.

۳-۳- مقایسه راندمان کاهش کسر حجمی مواد معلق در حوضچه بدون بافل و حوضچه بافل‌دار

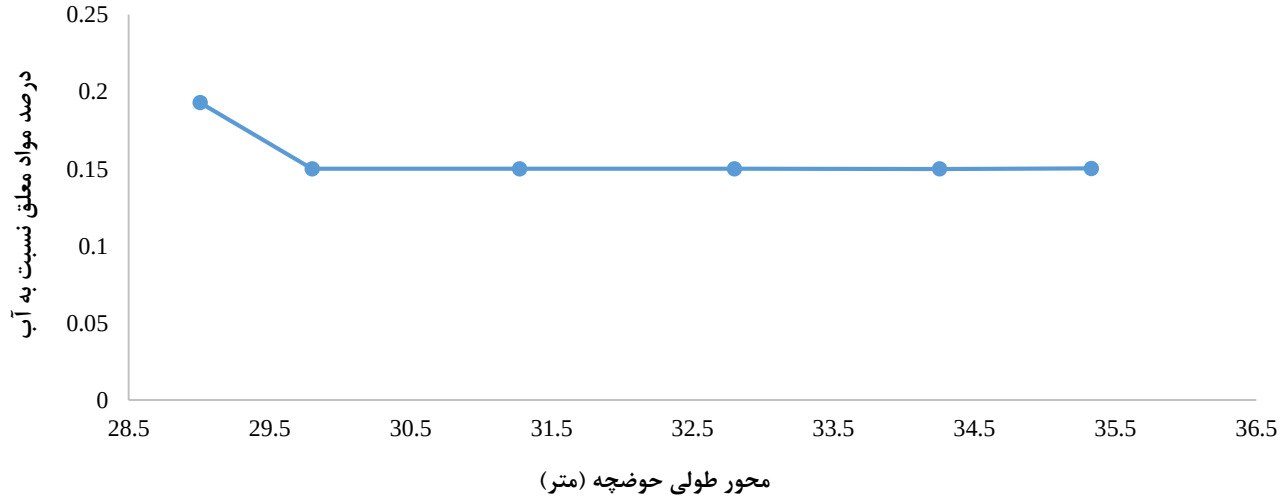
تغییرات مقادیر کسر حجمی فاز ثانویه (مواد معلق) نسبت به آب در نقاط مختلف طول حوضچه بدون بافل مطابق جدول شماره ۵ و نمودار شکل ۹ نمایش داده شده است. همان‌طور که از نمودار خطی نمایان است تغییرات در طول حوضچه بسیار اندک است.

درحوضچه ته‌نشینی تکله، تجهیز شده با ۴ صفحه بافل، نتایج اندازه‌گیری درصد کسر حجمی مواد معلق در ۶ نقطه از حوضچه و قبل از هر دیواره بافل و ابتدا و انتهای حوضچه، با نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی و مطابق جدول ۶ گزارش شده است.

شکل ۱۰ تغییرات کسرحجمی مواد معلق نسبت به آب را در نقاط مختلف طول حوضچه نشان می‌دهد که بیانگر کاهش محسوس کسر حجمی مواد معلق نسبت به آب در طول حوضچه است.

جدول ۵- درصد کسر حجمی مواد معلق در محور طولی حوضچه بدون بافل

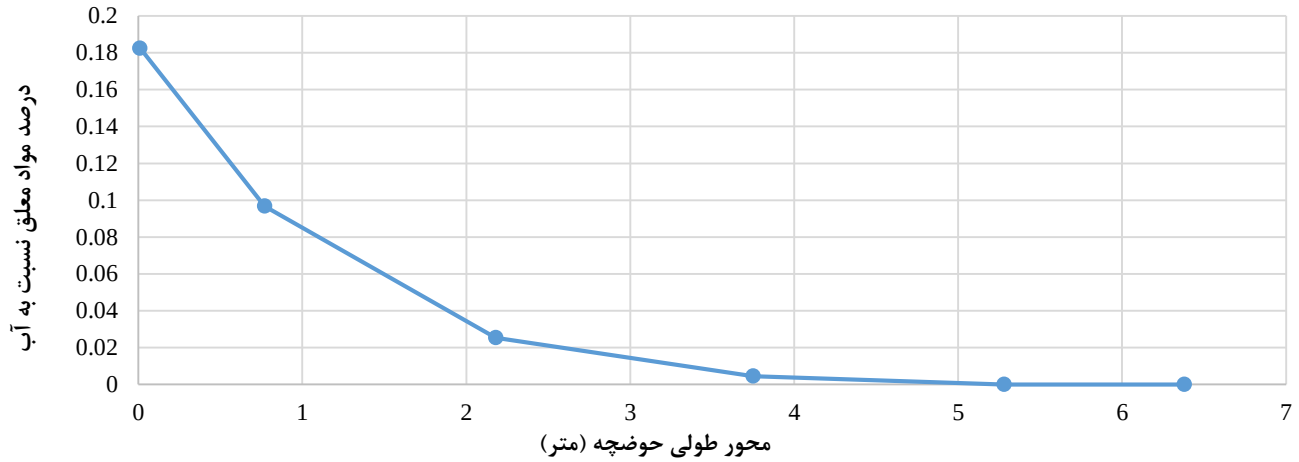
نام محل	کسرحجمی مواد معلق نسبت به آب	محور طولی حوضچه (متر)	محور ارتفاعی حوضچه
ورودی حوضچه	۰/۱۹۲۸۷	۰/۰۲	۲/۵
	۰/۱۴۹۹۸۲	۰/۸۲	۲/۵
	۰/۱۴۹۹۹۹	۲/۳۲	۲/۵
	۰/۱۵	۳/۸۲	۲/۵
	۰/۱۴۹۹۲	۵/۳۲	۲/۵
انتهای حوضچه	۰/۱۵۲۷۳	۶/۳۲	۲/۵



شکل ۹- نمودار تغییرات درصد کسر حجمی مواد معلق در طول حوضچه بدون بافل

جدول ۶- درصد کسر حجمی مواد معلق در محور طولی حوضچه بافل‌دار

z	کسر حجمی مواد معلق نسبت به آب	محور طولی حوضچه (متر)	محور ارتفاعی حوضچه
ورودی حوضچه	۰/۱۸۲۴۹۴	۰/۰۱	۲/۵
بافل ۱	۰/۰۹۶۷۹۷	۰/۷۷	۲/۵
بافل ۲	۰/۰۲۵۳۸۳	۲/۱۸	۲/۵
بافل ۳	۰/۰۰۴۵۴۳	۳/۷۵	۲/۵
بافل ۴	۰/۰۰۰۰۲	۵/۲۸	۲/۵
انتهای حوضچه	۰/۰۰۰۰۲	۶/۳۸	۲/۵



شکل ۱۰- نمودار تغییرات درصدکسرحجمی مواد معلق در طول حوضچه بافل‌دار

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای آشنایی با نحوه تصفیه آب پس از سیل، فرآیند تصفیه این آب‌ها پرداخته و واحدهای مختلف تصفیه فیزیکی تشریح و تئوری‌های ته‌نشینی بیان شد. سپس انواع حوضچه‌های ته‌نشینی معرفی شده مقایسه شد. برای انجام تحقیق از روش مطالعه تصفیه‌خانه‌های پایلوت موجود و ایجاد تغییرات بر روی حوضچه‌های ته‌نشینی آن‌ها با اضافه کردن صفحات بافل و بررسی نتایج آزمایشات قبل و بعد و هم‌چنین ساخت حوضچه ته‌نشینی پایلوت در مقیاس کوچک و پرتابل و شبیه‌سازی با نرم‌افزار کامسول بهره گرفته شد. انتشار حجم فاز ثانویه (مواد معلق) در حوضچه ساده بدون بافل در تمام طول حوضچه صورت‌گرفته و کدورت آب بیشتری به انتهای حوضچه رسیده است. اما در حوضچه بافل‌دار بیشتر حجم مواد معلق قبل از بافل‌ها رسوب کرده و به انتهای حوضچه نرسیده و یا حجم بسیار اندکی رسیده است. این نشان می‌دهد که عملکرد حوضچه ته‌نشینی در همان ابعاد فقط با اضافه کردن صفحات بافل در حذف مواد معلق و کاهش کدورت آب بسیار بهبود یافته است.

در نهایت، احداث تصفیه‌خانه جدید با ظرفیت نیاز فعلی بسیار ضروری بوده ولی به‌دلیل هزینه‌های گزاف احداث تصفیه‌خانه جدید و عدم اختصاص منابع مالی برای این منظور به‌ناچار باید به فکر ارتقای تأسیسات موجود و بهره‌برداری بهینه و استفاده از روش‌های علمی جدید بود که در این تحقیق استفاده از دیواره‌های بافل به‌جای احداث مجدد در حوضچه ته‌نشینی پیشنهاد شد.

۵- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب استان گیلان، معاونت بهره‌برداری و کلیه همکاران و مشاوران محترم که در این طرح ما را یاری نمودند، تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

۶- پی نوشت‌ها

۱ Turbidity
2- Discrete Particle Sedimentation
3- Flocculant Sedimentation
4- Hindered Sedimentation
5- Compression Sedimentation
6- Water Treatment Process
7- Comsol Multiphysics
8- Finite Element Method

۶- مراجع

ابهری، ن.، و ایرانشاهی قدسیان، م.، (۱۳۹۷)، "بررسی آزمایشگاهی تاثیر حضور دو مانع بر رفتار جریان گل آلود"، *مهندسی عمران مدرس*، ۱۸(۳)، ۲۳۷-۲۴۹.

اخوان، ک.، (۱۳۹۶)، "ارس شریان حیاتی دشت مغان"، مجله کشاورزی سنبله، ۲۱۵، ۳۶-۳۴.

آشفته، ج.، (۱۳۸۵)، *طراحی آبرسانی شهری برای مهندسین و دانشجویان مکانیک و راه و ساختمان*، انتشارات فنی حسینیان، تهران.

بوداغی، ه.، (۱۳۹۱)، "انواع فرآیندهای ته‌نشینی"، دریافت شده از healthenvironmental.blogfa.com.

پیکری، م.، و مهربانی، ا.، (۱۳۸۵)، *مبانی تصفیه آب*، انتشارات ارکان دانش، اصفهان.

جوادی راد، م.، شاهرخی، م.، و رجایی، ط.، (۱۳۹۶)، "بررسی

عددی تاثیر تعداد سازه بافل بر راندمان حوضچه ته‌نشینی اولیه"، *مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران*، ۱۷(۵)، ۴۹-۵۹.

حسنی، ع.، رحیمی زاد، م.، نوری ملالر، ک.، و رئوف، م.، (۱۳۹۱)، "افزایش ظرفیت تولید تصفیه‌خانه و کاهش کدورت آب خروجی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه پارس آباد)"، *اولین همایش ملی جریان و آلودگی آب*، تهران، ۱، ۹۹-۱۱۲.

حسینی، س.، و عبدی‌پور، ا.، (۱۳۸۹)، "مدل‌سازی عددی پروفیل سرعت در جریان‌های گل‌آلود پیوسته و بررسی تاثیر شیب، غلظت و دبی بر آن"، *مجله مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی*، ۳(۳)، ۶۰-۶۹.

Ahmed, F., Kamel, A., and Jawad, S.A., (1996), "Experimental determination of the optimal location and contraction of sedimentation tank baffles", *Water, Air, Soil Pollution*, 92(4-3), 251-271.

Al-Sammarraee, M., (2009), "Large-eddy simulations of particle sedimentation in a longitudinal sedimentation basin of a water treatment plant. Part 2: The effects of baffles", *Chemical Engineering Journal*, 152(3-2), 315-321.

Comsol, (2018), *COMSOL multiphysics*, Retrieved from https://www.comsol.com.

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(3-1), 110-121.

IUPAC, C.O.C.T., (2006), *Compendium of chemical terminology*, 2nd Edition, the "Gold Book", International Union of Pure and Applied Chemistry.

Joodi, A.S., (2013), "Effect of baffles geometry of the flocculation basin on the turbulence", *Journal of Environmental Studies*, 10(1), 71-77.

Manninen, M. Taivassalo, V. and Kallio, S. (1996). On the mixture model for multiphase flow. In: Technical Research Centre of Finland Finland.

Qasim, S.R., Motley, E.M., and Zhu, G., (2000), *Water works engineering: Planning, design, and operation*, Prentice Hall.

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), 1004-1009.

Wikipedia, (2018), *Residence time*, Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Residence_time

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