

بررسی راندمان حذف کدورت زلالسازهای ضربانی در مقایسه با زلالسازهای متداول در سطح کشور و انتخاب سیستم مناسب

آرش رئوف شیبانی (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه فردوسی مشهد)

Email: a.sheibani@toossab.net

نصیرگیفانی (مدیر بخش تصفیه خانه های آب شرکت مهندسين مشاور طوس آب)

Email: n.gifani@toossab.net

چکیده

زالالسازهای ضربانی در ۴۰ سال گذشته به عنوان یکی از پرکاربردترین سیستم های حذف کدورت در تصفیه خانه های آب سطح کشور بشمار می روند. در این مقاله کارکرد این زلالسازها در ۳ تصفیه خانه آب در سطح کشور با طول عمر های متفاوت بررسی شده (تصفیه خانه های ۱ و ۲ مشهد و ۳ تهران) و نتایج آنها با تصفیه خانه هایی با فرآیند ها و مشخصات اقلیمی متفاوت در سطح کشور (تصفیه خانه های زاهدان، تهران ۱ و اصفهان) مقایسه گردیده است. براساس نتایج بدست آمده در شرایط نسبتا مشابه راندمان زلالسازهای ضربانی در حذف کدورت بین ۵۰ تا ۷۵٪ متغییر بوده ولی راندمان سیستم های دیگر (اکسیلاتور، ته نشینی ساده و یا ته نشینی با لاملا) بین ۲۰٪ تا ۴۶٪ می باشد. همچنین استفاده از صفحات و یا لوله های شیب دار، استفاده از PAC و بهینه سازی ارتفاع مکش آب در ااتاقک خلا از جمله راهکارهای است که جهت بهبود کارکرد زلالسازهای ضربانی در حال کار مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

کلمات کلیدی

تصفیه آب، زلالساز، زلالساز ضربانی، حذف کدورت.

۱. مقدمه

زلزلسازهای ضربانی با موکت لجن شناور برای نخستین بار در سال های ۱۹۵۰ مورد استفاده قرار گرفتند و تاکنون بیش از ۶۰۰ مورد از نوع زلزلساز تنها توسط شرکت Degremont در سطح جهان ساخته و راه اندازی شده است [1]. این نوع از زلزلسازها در کشور ایران نیز از مهمترین اجزای تشکیل دهنده تصفیه خانه های آب می باشد. سهولت بهره برداری کیفیت مناسب خروجی و تجربه بهره برداری که به سبب تعدد آنها در کشور ایجاد شده است، از جمله مزایای این سیستم ها هستند. با وجود تمامی این مسائل عدم وجود مطالعه جامع بر روی نحوه کارکرد این گونه از زلال سازها و مقایسه آنها با دیگر انواع موجود در کشور در سال های اخیر، سبب شده تا برخی از کارشناسان شبهاتی را برای استفاده از این سیستم ها مطرح نمایند.

در مقاله سعی شده است با رویکردی بی طرفانه به بررسی کارکرد این زلزلسازها و مقایسه آنها با دیگر زلزلسازهای رایج در سطح کشور پرداخته، و نقاط ضعف و قوت هریک از آنها معرفی گردد. همچنین در انتها برخی از روش های ممکن جهت ارتقا راندمان زلزلسازهای ضربانی در حال بهره برداری معرفی شده اند.

۲. بررسی جامعه آماری و داده های جمع آوری شده

به منظور بررسی و مقایسه نحوه کارکرد و میزان راندمان زلزلسازهای ضربانی در برابر زلزلسازهای متداول کدورت های ورودی و خروجی ۷ نوع زلزلساز در ۶ تصفیه خانه مختلف مورد بررسی قرار گرفت (جدول شماره ۱). تمامی داده ها در حالت کارکرد عادی تصفیه خانه ها بوده و به منظور افزایش دقت از بیشترین بازه زمانی ممکن برای جمع آوری داده ها استفاده گردیده است.

جدول ۱: لیست مشخصات هریک از زلزلسازهای مورد بررسی

نام تصفیه خانه	نوع زلزلساز	ظرفیت (m ³ /day)	طول عمر	ماده منعقد کننده اصلی	مرجع داده ها	تعداد نمونه	بازه زمانی مورد بررسی
تصفیه خانه ۱ مشهد	ضربانی (پولساتور ^۱)	۹۶۰۰۰	۱۳۷۰	کلروفریک (FeCl ₃)	جمع آوری مستقیم	۲۹ نمونه	یک سال
تصفیه خانه ۲ مشهد	ضربانی (پولساتور)	۹۶۰۰۰	۱۳۷۸	کلروفریک (FeCl ₃)	جمع آوری مستقیم	۲۹ نمونه	یک سال
تصفیه خانه ۱ تهران (جلالیه)	اکسیلاتور ^۲	۶۲۲۰۸۰	۱۳۳۴	کلروفریک (FeCl ₃)	مقاله [2]	۲۷۰ نمونه	نه ماه
تصفیه خانه ۳ تهران	ضربانی (پولساتور)	۳۴۵۶۰۰	۱۳۴۶	کلروفریک (FeCl ₃)	مقاله [2]	۲۷۰ نمونه	نه ماه
تصفیه خانه زاهدان	ثقلی (دایروی)	۷۵۰۰۰	۱۳۸۸	پلی آلومینیوم کلراید (PACl)	جمع آوری مستقیم	۳۰ نمونه	یک سال
تصفیه خانه اصفهان	ثقلی (دایروی)	۴۳۲۰۰۰	۱۳۶۸	پلی آلومینیوم کلراید (PACl)	مقاله [3]	۵۴ نمونه	یک سال
تصفیه خانه اصفهان	ثقلی (دایروی) با لاملا	۴۳۲۰۰۰	۱۳۶۸	پلی آلومینیوم کلراید (PACl)	مقاله [3]	۵۴ نمونه	یک سال

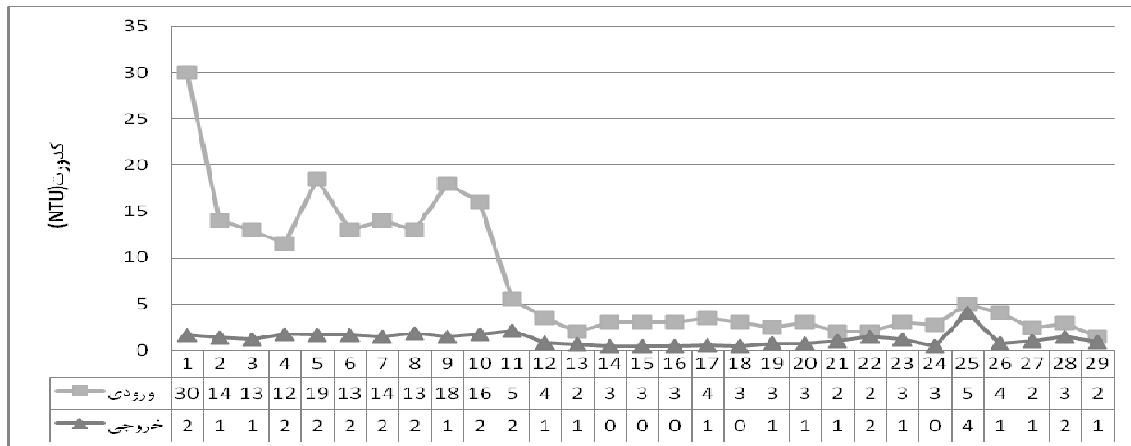
¹ Pulsator

² Accelator

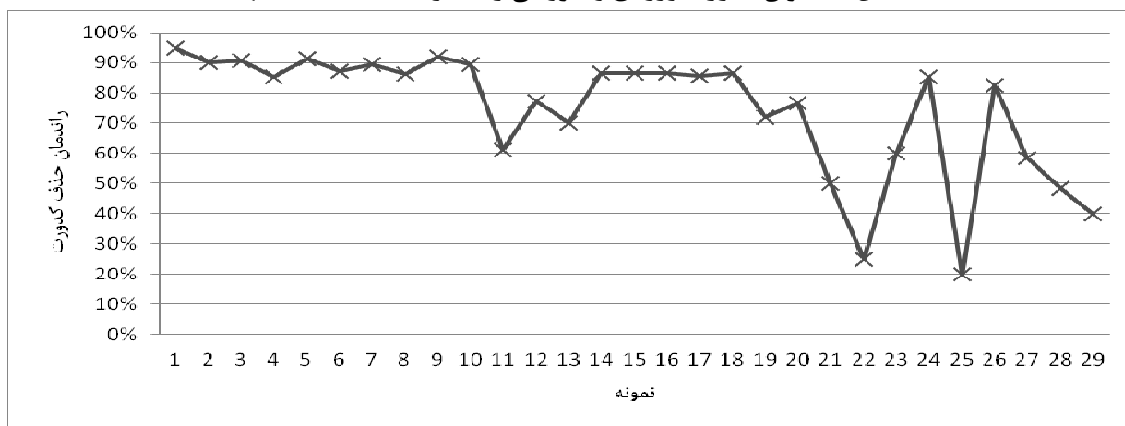
۱.۲. بررسی داده ها

۱.۱.۲. تصفیه خانه ۱ مشهد

این تصفیه خانه در جنوب غربی مشهد واقع شده و در خرداد ماه سال ۱۳۷۰ به بهره برداری رسیده است. ظرفیت اسمی تصفیه خانه ۹۶.۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز میباشد، که از سدهای طرق و کارده تامین می شود. این تصفیه خانه دارای ۲ زلالساز ضربانی (پولساتوری) است. نمودارهای زیر براساس نتایج ۲۹ نمونه متوالی در دوره کارکرد تصفیه خانه در سال ۱۳۹۰ ایجاد شده اند (شکل های شماره ۱ و ۲).



شکل ۱: میزان کدورت ورودی و خروجی زلالساز تصفیه خانه ۱ مشهد

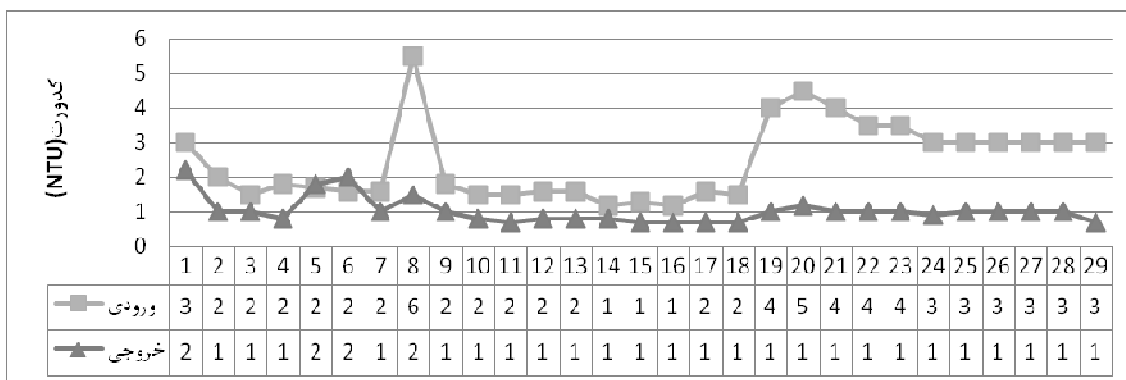


شکل ۲: راندمان حذف کدورت در زلالساز تصفیه خانه ۱ مشهد

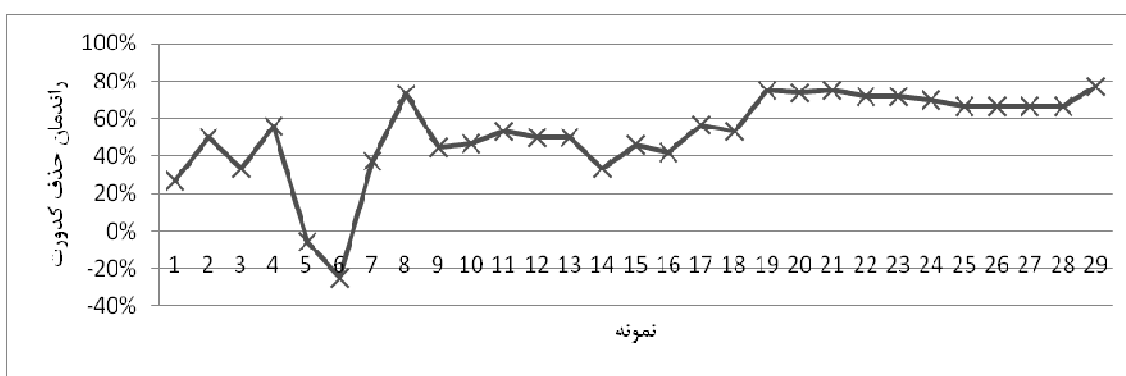
بر طبق داده های جمع آوری شده راندمان زلالساز این تصفیه خانه در کدورت های ورودی بالا ($NTU > 10$) به مراتب بیشتر از راندمان آن در کدورت های پایین ($NTU < 10$) می باشد و کدورت خروجی از سیستم نیز نوسان پایینی داشته، و مستقل از کدورت ورودی است و در اغلب موارد در بازه ۲-۴ NTU متغیر است.

۲.۱.۲. تصفیه خانه شماره ۲ مشهد

تصفیه خانه آب شماره ۲ مشهد در جنوب شهر مشهد قرار دارد و در سال ۱۳۷۸ به بهره برداری رسیده است. ظرفیت اسمی آن ۹۶.۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز است که از سد طرق تأمین می گردد. این تصفیه خانه دارای ۲ زلالساز ضربانی (پولساتوری) می باشد. نمودارهای زیر براساس نتایج ۲۹ نمونه متوالی در دوره کارکرد تصفیه خانه در سال ۱۳۹۰ ایجاد شده اند (شکل شماره ۳ و ۴).



شکل ۳: میزان کدورت ورودی و خروجی زلالساز تصفیه خانه ۲ مشهد

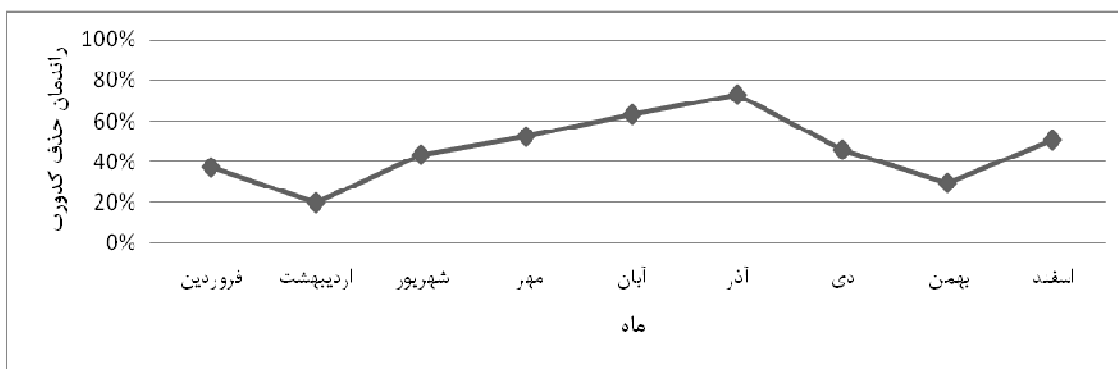


شکل ۴: راندمان حذف کدورت در زلالساز تصفیه خانه ۲ مشهد

مشابه تصفیه خانه شماره ۱ مشهد در این تصفیه خانه نیز زلالسازها در کدورت های ورودی بالا راندمان بهتری داشته و کدورت خروجی مستقل از کدورت ورودی می باشد. در ۲ نمونه کدورت ورودی از کدورت خروجی کمتر می باشد. که این امر سبب منفی شدن راندمان حذف کدورت شده است.

۳.۱.۲. تصفیه خانه ۱ تهران (جلالیه)

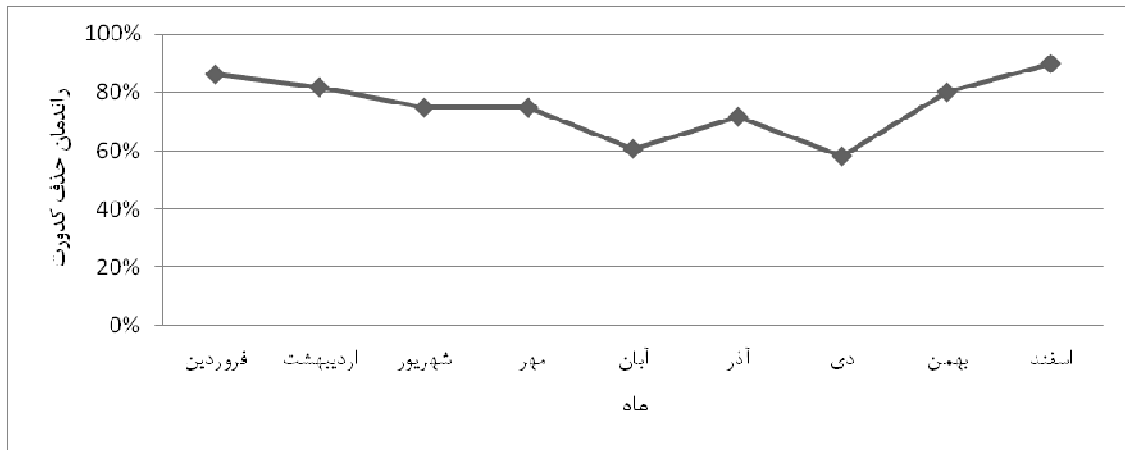
این تصفیه خانه در خیابان فاطمی تهران واقع شده و در خرداد ماه سال ۱۳۳۴ به بهره برداری رسیده است. ظرفیت اسمی تصفیه خانه ۶۲۲.۰۸۰ مترمکعب در شبانه روز است که از رودخانه کرج ایستگاه آبگیر بیلقان و سد طالقان تامین می گردد. این تصفیه خانه دارای ۶ زلالساز اکسیلاتوری می باشد. نمودارهای زیر براساس ۲۷۰ نمونه متوالی در دوره کارکرد ۹ ماهه تصفیه خانه در سال ۱۳۸۷ ایجاد شده است [2] (شکل شماره ۵).



شکل ۵: راندمان حذف کدورت در زلالساز تصفیه خانه ۱ تهران

۴.۱.۲. تصفیه خانه شماره ۳ تهران

این تصفیه خانه در منطقه حکیمیه تهران واقع شده و در خرداد ماه سال ۱۳۴۶ به بهره برداری رسیده است. ظرفیت اسمی تصفیه خانه ۳۴۵۶۰۰ مترمکعب در شبانه روز است که از سد لتیان تامین میگردد. این تصفیه خانه دارای ۳ زلالساز ضربانی می باشد. نمودارهای زیر براساس ۲۷۰ نمونه متوالی در دوره کارکرد ۹ ماهه تصفیه خانه در سال ۱۳۸۷ ایجاد شده است [2] (شکل شماره ۶).

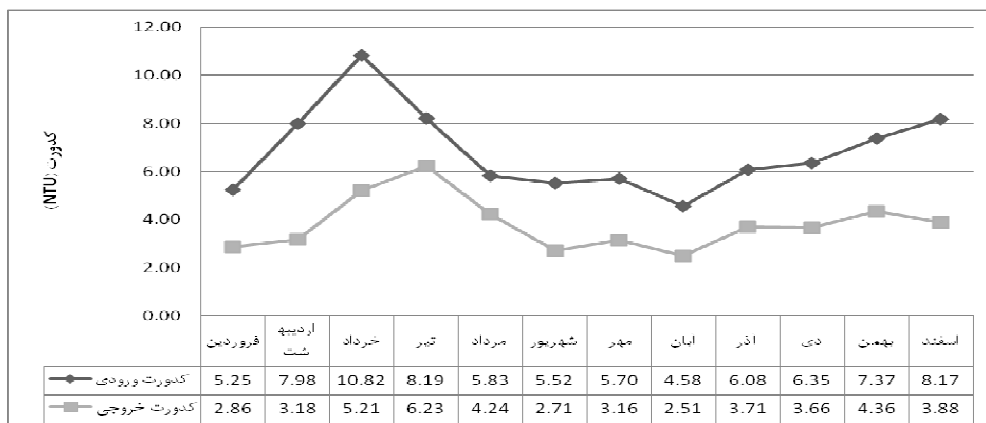


شکل ۶: راندمان حذف کدورت در زلالساز تصفیه خانه ۳ تهران

به علت عدم دسترسی به داده های کدورت ورودی و خروجی به زلالساز، در این تصفیه خانه امکان تحلیل کارکرد آن در کدورت های بالا و پایین وجود نداشت.

۵.۱.۲. تصفیه خانه زاهدان

این تصفیه خانه در جنوب غربی زاهدان واقع شده و در خرداد ماه سال ۱۳۸۹ به بهره برداری رسیده است. ظرفیت اسمی تصفیه خانه ۷۵۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز است که چاه نیمه شماره ۳ شهرستان زهک تامین می گردد. این تصفیه خانه دارای ۵ زلالساز از نوع ثقلی و با مقطع دایروی می باشد. نمودارهای زیر براساس ۳۰ نمونه متوالی در دوره کارکرد یک ساله تصفیه خانه در سال ۱۳۹۰ ایجاد شده اند (شکل های شماره ۷ و ۸).



شکل ۷: میزان کدورت ورودی و خروجی زلالساز تصفیه خانه زاهدان

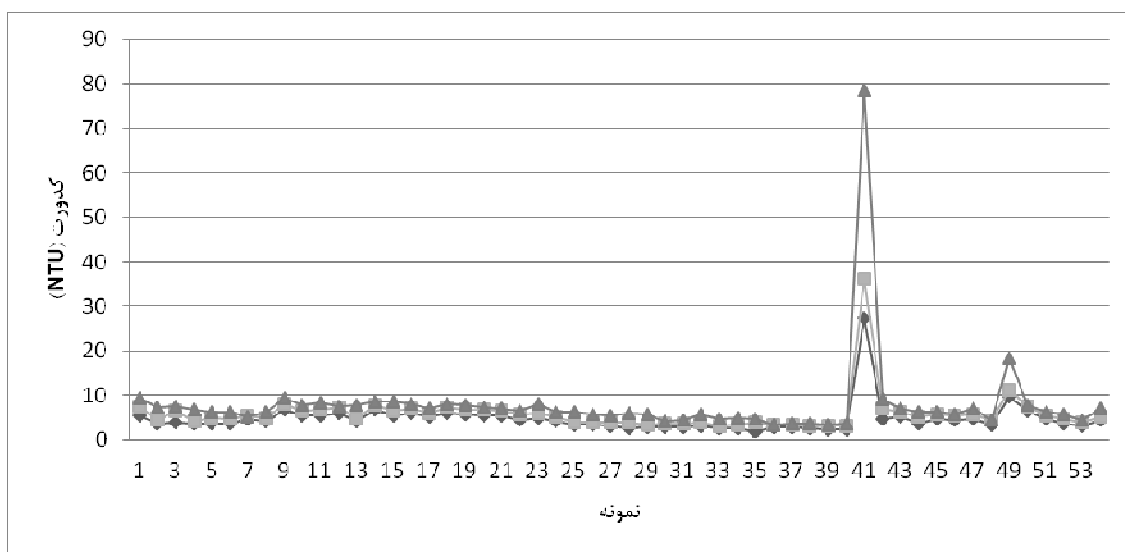


شکل ۸: راندمان حذف کدورت در زلالساز تصفیه خانه زاهدان

در زلالساز ثقلی (دایروی) این تصفیه خانه برخلاف زلالسازهای ضربانی تصفیه خانه های ۱ و ۲ مشهد کدورت در خروجی زلالساز کاملاً تابع میزان کدورت ورودی می باشد. راندمان حذف نیز برخلاف زلالسازهای ضربانی در کدورت های ورودی پایین بیشتر است.

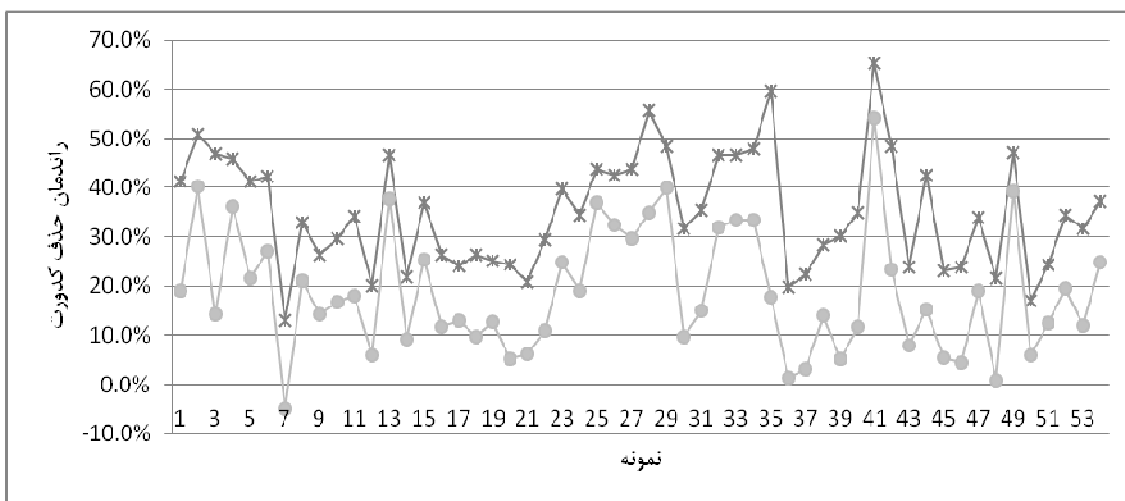
۶.۱.۲. تصفیه خانه اصفهان

تصفیه خانه بابا شیخعلی اصفهان در جوار شهر زاینده رود واقع شده و آب خام ورودی آن از سد چم آسمان تأمین می شود. تصفیه خانه بابا شیخعلی دارای دو فاز یک و دو می باشد: فاز یک در سال ۱۳۶۸ به بهره برداری رسیده و ظرفیت اسمی آن ۵ متر مکعب بر ثانیه است. این فاز دارای ۴ زلالساز از نوع ثقلی با سطح مقطع دایروی و انعقاد آرام مرکزی^۳ بوده و همچنین بر روی زلالسازهای شماره ۱ و ۲ این تصفیه خانه نیز قطعات لاملا از نوع Tube Settler نصب شده است. جداول زیر براساس ۵۴ نمونه متوالی در دوره کارکرد یک ساله تصفیه خانه در سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ ایجاد شده اند [3] (شکل های شماره ۹ و ۱۰).



شکل ۹: میزان کدورت ورودی و خروجی زلالسازهای تصفیه خانه اصفهان (کدورت ورودی Δ ، کدورت خروجی از زلالساز عادی \square و کدورت خروجی از زلالساز با لاملا \diamond)

³ Clariflocculator



شکل ۱۰: راندمان حذف کدورت در زللسازهای تصفیه خانه اصفهان (راندمان زللساز عادی X و زللساز با لاملا O)

در هر دو نوع زللساز این تصفیه خانه (مشابه تصفیه خانه زاهدان و برخلاف زللسازهای ضربانی) کدورت در خروجی زللساز کاملاً تابع میزان کدورت ورودی می باشد. همچنین راندمان حذف در سیستم مجهز به لاملا نسبت به سیستم عادی افزایش یافته است.

۳. راهکارهای پیشنهادی برای افزایش راندمان زللسازهای ضربانی

به منظور افزایش میزان کارایی زللسازهای ضربانی در حال بهره برداری می توان از روش های زیر استفاده

نمود:

- استفاده از صفحات لاملا
- بهینه سازی ارتفاع مکش
- استفاده از پودر کربن فعال (PAC)

از جمله مزیت های تمامی روش های فوق می توان به عدم نیاز به تخریب سیستم در حال کار و مدت زمان اجرای کوتاه آنها اشاره کرد.

۳.۱. استفاده از صفحات لاملا

استفاده از ورق ها و یا تیوب های لاملا در زللسازهای ضربانی سبب افزایش کارایی و افزایش میزان بار سطحی به میزان 4.8 تا 9.8 m/hr در این زللسازها می گردد، که نسبت به زللسازهای ضربانی عادی ($2-4.5$ m/hr) از رشد قابل توجه ای برخوردار است. (می توان به مدل های طراحی شده توسط سوی شرکت دگرمونت^۴ که از آن با نام های Superpulsator و Pulsatube از آنها نام برده می شود، اشاره نمود [1]).

۳.۲. بهینه سازی ارتفاع مکش

با بهینه سازی ارتفاع مکش میتوان راندمان حذف کدورت را در زللسازهای ضربانی افزایش داد. ارتفاع مکش بین 60 تا 100 cm متداول میباشد. خضری و همکاران نشان دادند که با افزایش میزان ارتفاع مکش راندمان حذف دارای یک نقطه بهینه خواهد بود [4]. Interto این میزان را برای زللسازهای ضربانی در حدود 60 cm محاسبه نموده است [5].

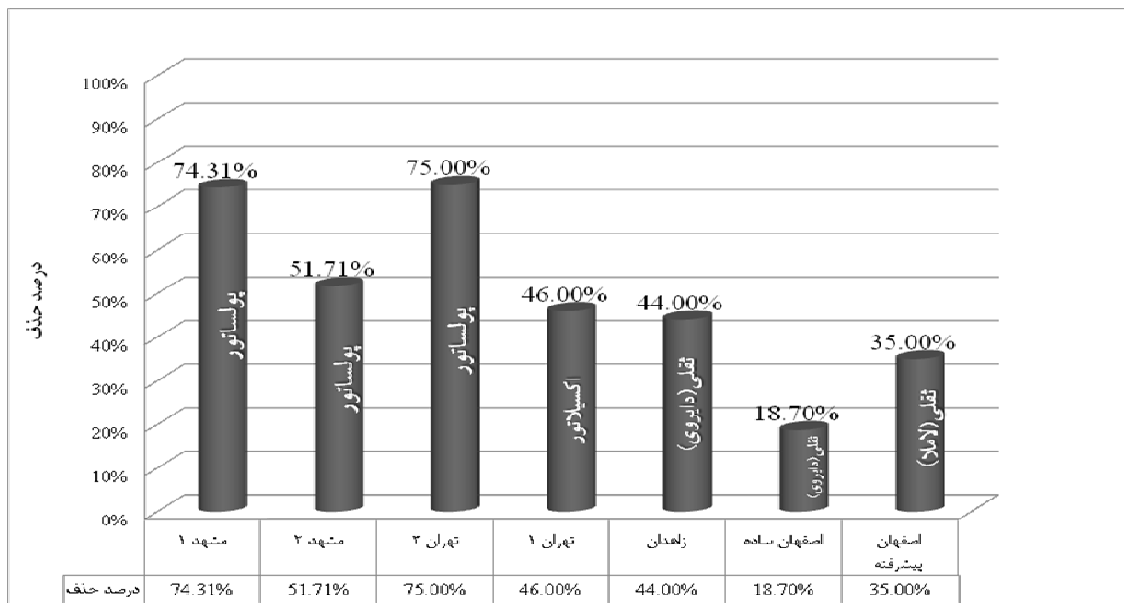
⁴ Degremont

۳.۳. استفاده از پودر کربن فعال

استفاده از کربن فعال به منظور کاهش میزان TOC کاربرد فراوانی در فرآیندهای تصفیه خانه آب دارد. یکی از راه‌های استفاده از این ماده تزریق آن به صورت پودر (PAC) در زلالسازهای ضربانی (پولساتوری و سوپر پولساتوری) است. در این زلالسازها زمان تماس با PAC به علت وجود موکت لجنی افزایش خواهد یافت (۱۲ ساعت تا ۳ روز). به همین علت میزان استفاده از پودر کربن فعال در این زلالسازها نسبت به بسترهای جذب ثابت ۱۵ تا ۴۰٪ کاهش می‌یابد [6]. میزان غلظت پیشنهادی برای تزریق PAC در این نوع از زلالسازها بین ۲ تا ۵ mg/lit متغیر است [7].

۴. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به اینکه منبع تامین آب در تمامی تصفیه‌خانه‌های مورد بررسی سد ها و دریاچه‌های مصنوعی می‌باشد میتوان با فرض یکسان بودن عوامل ایجاد کننده کدورت در ورودی نتایج آنها را با یکدیگر مقایسه نمود. با مقایسه نتایج مشاهده میشود که بطور کلی راندمان زلالسازهای ضربانی از انواع دیگر زلالساز بالاتر است. و حتی ارتقا زلالسازهای ثقلی و استفاده از لاملا نیز نتوانسته است راندمان آنها را به سطح زلالسازهای ضربانی برساند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: مقایسه میانگین راندمان حذف کدورت در هر یک از تصفیه‌خانه‌های مورد بررسی

همچنین کدورت خروجی از زلالسازهای ثقلی تابع کدورت ورودی به آنها می‌باشد ولی در زلالسازهای ضربانی این میزان مستقل از میزان کدورت ورودی است. راندمان زلالسازهای ضربانی در کدورت‌های پایین مشابه انواع ثقلی است ولی این زلالسازها در کدورت‌های بالا عملکرد بسیار مناسبی دارند که این امر قابلیت کارکرد آنها در مواردی که احتمال بروز شوک‌های کدورت در ورودی زلالساز وجود دارد را بالا می‌برد.

با مقایسه نتایج حاصل از زلالسازهای ضربانی با نتایج حاصل از پایلوت تست آنها میتوان مشاهده نمود که راندمان واقعی این زلالسازها از راندمان تست آنها (۹۵.۷۴ در بار سطحی ۲.۹۹ m/hr) پایین‌تر می‌باشد [6][7][8]. که نشان دهنده قابلیت افزایش راندمان حذف کدورت در آنها است. که بدین منظور می‌توان از یکی از روش‌های اشاره شده در بخش ۳ استفاده نمود.

مورد دیگری که می تواند بر روی راندمان موثر باشد نوع ماده منعقد کننده مصرفی است. با مقایسه جدول شماره ۱ و نتایج حاصل از شکل ۱۱، مشاهده می شود، زلالسازهایی که از ماده کلروفوریک به عنوان ماده منعقد کننده استفاده می کنند، راندمان بالاتری نسبت به انواعی دارند که از پلی آلومینوم کلراید به عنوان منعقد کننده استفاده می نمایند. این مسئله در آزمایش های پایلوت تست نیز نشان داده شده است [9].

۵. منابع و مراجع

- [1] *Degermont, 1991. Water and Wastewater Treatment. Sixth edition, Vol.1,2, Lavoisier publishing, Chapter10-settling*
- [2] پیرصاحب، مقداد و همکاران؛ مقایسه کارایی سیستم های تصفیه پلساتور و اکسیلاتور در تصفیه خانه های آب، مجموعه مقالات دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، تهران، آبان ماه ۱۳۸۸، صفحات ۱۲۶۰-۱۲۶۷.
- [3] معمارزاده، محسن، مهندسی مجدد در کلاریفایرهای تصفیه خانه آب اصفهان از طریق نصب سیستم لاملا، مجله نشریه تخصصی آب و فاضلاب، شماره ۳، ۱۳۹۰، صفحات ۱۰۹-۱۱۵
- [4] *Intrto, Surat., Effects of pulsation rate, surface overflow rate and suction height on the turbidity removal efficiency of pulsator clarifier, Thesis for M.s of Engineering in Environmental Science, 2005, pp. 10-15.*
- [5] *Khezri, Mostafa. et al, A Study of the Suction Height Effect on Turbidity Removal Efficiency of Water in Pulsator, Global Journal of Researches in Engineering Volume XII, May2012, Page:6-12.*
- [6] *Degermont, 1991. Water and Wastewater Treatment. Sixth edition, Vol.1,2, Lavoisier publishing, Chapter3-10 adsorption*
- [7] *www.google.com /water treatment advance Pulsator clarifier/High rate pulsed sludge blanket clarifier john clarifier/john D.Dyson, inflco degremont Inc.Richmont, VA*
- [8] خضری، سید مصطفی و همکاران، بررسی تاثیر بار سطحی بر راندمان حذف کدورت در پولساتور و حجم فلاک ته نشین شده، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ۱۳۹۰.
- [9] فرخ زاده، حسین و همکاران، عملکرد زلالساز اکسیلاتور در حذف کدورت، مجله تحقیقات نظام سلامت، سال ششم، ویژه نامه سال ۱۳۸۹، صفحات ۹۶۷-۹۷۳.